

Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Fakulta strojní
Katedra robotechniky

Hmatový subsystém robotu

Touch Subsystem of Robot

Diplomová práce

Student:

Bc. Michal Kvita

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava, 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Kvita**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Hmatový subsystém robotu**
Touch Subsystem of Robot

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte hmatový systém pro čelist robotu s řízením úchopné síly a detekcí způsobu uchycení objektu manipulace.
2. Navrhněte a odlaďte vhodný řídicí a vizualizační software.
3. Realizujte funkční vzorek navrženého zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy I.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 123 s.

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy II.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 116 s.

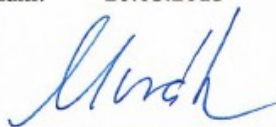
MOSTÝN, V., SKAŘUPA, J. *Teorie průmyslových robotů.* 1. vyd. Košice : Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Strojnícka fakulta TU v Košiciach, VIENALA Košice, 2000. 150 s. ISBN 80-88922-35-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :.....

.....

Michal Kvita

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá школа ба́ньскá – Техни́кá универзита Острава (да́ле jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сjeднáно, же с VŠB-TUO, в пpипаде́ зájму з její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было сjeднáно, же užít své dílo – дипломovou пpáci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же оdevздáním své пpáce souhlasím se зveřejněním své пpáce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

Plné jméno diplomanta

Hůrka 89
Nový Jičín
741 01

Anotace diplomové práce

Bc. KVITA, M. Hmatový subsystém Robotu, Ostrava: Katedra robototechniky - 354, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 78s. Diplomová práce, vedoucí: prof. Dr. Ing. Petr Novák.

Diplomová práce je od samotného počátku vedena jako vědecký projekt pro získání prvotních poznatků v problematice hmatového subsystému. Zabývá se návrhem a přípravou patřičného hardware pro vytvoření hmatového subsystému na dodaný efektor robotu. Hardware je z velké části použit z jiných výzkumných, či prezentačních projektů, na kterých se katedra Robototechniky podílí.

Hlavní část diplomové práce se zabývá tvorbou software v programu Matlab s využitím grafického uživatelského rozhraní GUI. Aplikace ovládající čelisti efektoru je schopna, za využití neuronové sítě, vyhodnotit uchopovaný předmět na základě učení neuronové sítě za chodu.

Annotation of Diploma Thesis

Bc. KVITA, M. Tactil Subsystem of Robot, Ostrava: Department of Robotics - 354, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 78 s. Thesis, head: prof. Dr. Ing. Petr Novák.

Diploma thesis is guided from the very beginning as a research project to acquire my knowledge the issue of tactile subsystem. It deals with the design and preparation of appropriate hardware to create the haptic subsystem supplied effector robot. Hardware is largely used in other research, or presentation projects that the Department of Robotics involved.

The main part of diploma thesis deals with the creation of software in Matlab using the graphical user interface GUI. By controlling the jaw effector is able, using a neural network to evaluate the gripping object based on neural network during operation.

OBSAH

1.	ÚVOD	8
2.	HMATOVÝ SUBSYSTEM V KONCOVÉM ČLENU ROBOTU	9
3.	HMATOVÝ SUBSYSTEM – MĚŘENÍ SÍLY	10
3.1	FSR senzory	10
3.2	Závislost odporu na působící síle	11
3.3	Závislost vodivosti na působící síle	12
3.4	Druhy FSR senzorů	13
3.4.1	Model 400	13
3.4.2	Model 402	13
3.4.3	Model 406	14
3.4.4	Model 408	15
3.5	Konektory senzorů	15
3.6	Doporučená elektrická zapojení FSR senzorů	16
3.7	Aplikace FSR senzorů	16
3.7.1	Haptické zařízení: Senzorický náprstek	16
3.7.2	Měření síly při intubaci	17
3.7.3	Citlivá vložka do bot	18
3.7.4	Monitorovací lůžko pro seniory	19
3.7.5	Měření síly sevření čelistí	19
3.7.6	Měření síly stisku čelistí u živočichů	20
3.7.7	Citlivější brzdový pedál u PC her	21
4.	NEURONOVÁ SÍŤ	22
4.1	Biologický neuron	22
4.2	Umělý neuron	23
4.2.1	Schéma jednoho umělého neuronu	23
4.2.2	Příklady Přenosových funkcí	24
4.3	Umělá neuronová síť	25
4.4	Učení neuronových sítí	26
4.5	Jednotlivé neuronové sítě	27
5.	MODEL RAMENE STARGATE	30

5.1	Pohon efektoru	30
5.2	Rychlost pohybu čelistí a síla na čelistech	32
6.	POŽADAVKOVÝ LIST	34
7.	BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ	34
8.	REALIZACE ZAPOJENÍ FSR SENZORŮ	35
8.1	Úprava čelistí.....	37
9.	SBĚR DAT	40
9.1	Multifunkční USB modul UDAQ 1416AS	40
10.	ŘÍDICÍ DESKA PRO POHON EFEKTORU	41
10.1	H můstek	42
10.2	Měření proudu	44
10.3	Propojení veškerých obvodů pro chod motoru	45
11.	CELKOVÉ ZAPOJENÍ VEŠKERÉHO ZAŘÍZENÍ	45
12.	APLIKACE V PROGRAMU MATLAB.....	46
12.1	Propojení měřicího modulu UDAQ s Matlabem.....	46
12.2	úprava napětových hodnot ze senzorů na silovou	49
12.3	Deformace čelistí při pohybu	52
12.4	Měření proudu	55
13.	KONEČNÁ PODOBA VYTVOŘENÉHO SOFTWARE	61
13.1	Popis grafického rozložení vytvořeného software	62
13.2	Ruční ovládání čelistí	64
13.3	Ovládání čelistí podle zadané síly stisku + učení sítě	65
13.4	Ovládání čelistí podle protékajícího proudu motorem + vyhodnocení sítě	68
14.	UCHOPOVANÉ OBJEKTY.....	72
15.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....	73
16.	POUŽITÁ LITERATURA.....	75
17.	SEZNAM PŘÍLOH	77

Seznam použitého značení

Označení	Význam označení	Jednotka
F_1	Síla, vyvolaná pohybem čelisti	[N]
F_2	Síla, vyvolaná pohybem čelisti	[N]
I	Protékající proud motorem	[A]
M_{jM}	Jmenovitý krouticí moment motoru	[mNm]
M_P	Krouticí moment na ozubeném pastorku	[Nm]
R	Velikost odporu na proudové desce	[Ω]
U_{dig}	Digitální hodnota napětí	[-]
d	Průměr roztečné kružnice	[mm]
i	Převodový poměr	[-]
n_M	Jmenovité otáčky motoru	[min ⁻¹]
n_P	Jmenovité otáčky ozubeného pastorku	[min ⁻¹]
o_P	Obvod ozubeného pastorku	[m]
p	Průměrná hodnota poměru	[-]
s_P	Uražená dráha ozubeného pastorku za sekundu	[m]
v	Rychlost pohybu čelisti	[m/s]
Δx_1	Vzdálenost sevřených čelistí v zadní části	[mm]
Δx_2	Vzdálenost sevřených čelistí v přední části	[mm]
η_M	Účinnost motoru	[%]
η_P	Účinnost převodovky	[%]

1. ÚVOD

Nasazování hmatového subsystému na koncový člen jakéhokoli robotu je v dnešní době nedílnou součástí návrhu celého funkčního systému. Tento subsystém již nebývá využíván pouze na humanoidních robotech, ale také na průmyslových. I v průmyslovém odvětví je kladen velký důraz na zpětnou vazbu koncového členu robotu a následné vyhodnocování vzniklé situace.

Návrh hmatového subsystému je ovlivněn celkovým nadhledem na daný úkol. Co se vlastně od hmatového subsystému dá očekávat? Má-li hmatový subsystém robotu umět uživatele jen informovat, zda čelisti něco sevřely či nikoli, či má o sevřeném objektu získat co možná nejvíce informací. Od tohoto prvního pohledu na danou problematiku se odvíjí výběr toho správného hardware, který bude použit, aby co nejlépe vyhovoval zadaným požadavkům.

Diplomová práce se zabývá návrhem hmatového subsystému na efektor StarGate mobilního robotu. Efektor je vyroben za pomoci 3D tisku z polykarbonátu tiskárnou FORTUS 360mc. Následně je řešeno zajištění řízení úchopné síly efektoru a získávání, současně monitorování, informací z hmatového subsystému.

Hlavním cílem této práce je nasazení neuronové sítě pro zjišťování tvarů uchopovaných předmětů v čelistech daného efektoru StarGate. K tomuto účelu byl zvolen software Matlab, s využitím grafického uživatelského rozhraní (GUI), ve kterém bude vytvářena aplikace obsluhující čelisti.

2. HMATOVÝ SUBSYSTÉM V KONCOVÉM ČLENU ROBOTU

Koncový člen (efektor) u humanoidních robotů je realizován jako lidská dlaň. Tudiž i hmatové schopnosti dlaně a prstů se neustále snaží přiblížit lidským. U humanoidních robotů, kteří se snaží s nadsázkou být jako lidé, je nezbytné, aby tato schopnost byla vyladěna k dokonalosti. Kontakt s takovýmto robotem, kde hmat nebude dostatečně řešen, může vyvolat nemalé komplikace. Vezmeme-li v potaz obyčejné podání si rukou. Proto je v dnešní době samozřejmostí a nutností tuto problematiku řešit.



Obr. 1. Robotická dlaň. [25]

Nasazování hmatového subsystému nesouvisí pouze s robotickými dlaněmi. Lze a doporučuje se nasazovat tento hmatový smysl i pro obyčejné efektoru pracující na principu kleští. Nebudou-li čelisti uchopovat pouze dokola jeden a tentýž předmět nebo předměty se stejnými materiálovými vlastnostmi, bude tento vjem obrovskou výhodou. Především se tím poškozování, ba dokonce zničení uchopovaných předmětů.



Obr. 2. Robotická paže s nasazením efektoru na principu čelistí. [26]

Prakticky lze říct, že by tyto systémy měly být na každém koncovém členu robotu. Ve velkém množství nasazení robotů však není potřeba takového monitorování. Záleží tedy na využití samotného robotu.

V současnosti se tyto systémy doposud nasazují ve výzkumných, lékařských či předváděcích složkách. V průmyslovém odvětví je tato schopnost efektoru prakticky nepoužívaná. Robotické jednotky v průmyslu uchopují dokola jeden a tentýž předmět, na který jsou roboty nastaveni. Není tedy potřebné zobrazovat rozložení síly v čelistech. Jednodušším způsobem je čelisti vybavit tvarovým stykem s předmětem a pro tento styk nastavit sílu v čelistech potřebnou pro bezpečné uchopení.

3. HMATOVÝ SUBSYSTÉM – MĚŘENÍ SÍLY

Jedná se o druh snímačů, které jsou schopny zaznamenávat úchopnou sílu. Na trhu existuje nepřehledné množství senzorů pro měření síly.

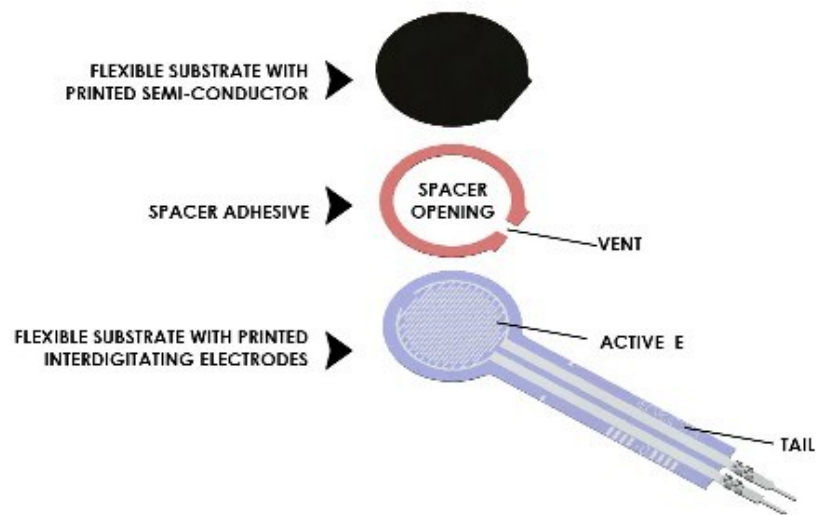
Hmatový subsystém pro tuto práci bude postaven na senzorech typu FSR.

3.1 FSR SENZORY

Senzor měřící sílu (Force sensing resistor) je tenká polymerová folie, která vykazuje klesající odpor při zvyšující se působící síle na aktivní ploše. Skládá se ze dvou membrán oddělených tenkou vzduchovou mezerou. Vzduchová mezera je udržována mezikusem kolem okrajů a tuhostí obou membrán. Jedna z membrán má dvě sady vodivých elektrod, které jsou elektricky odlišné. Každá sada je připojena k jednomu vývodu senzoru. Druhá membrána je potažena FSR barvou. Při stisku FSR barva krátkodobě propojí dvě sady elektrod spolu s odporem, který závisí na použité síle.

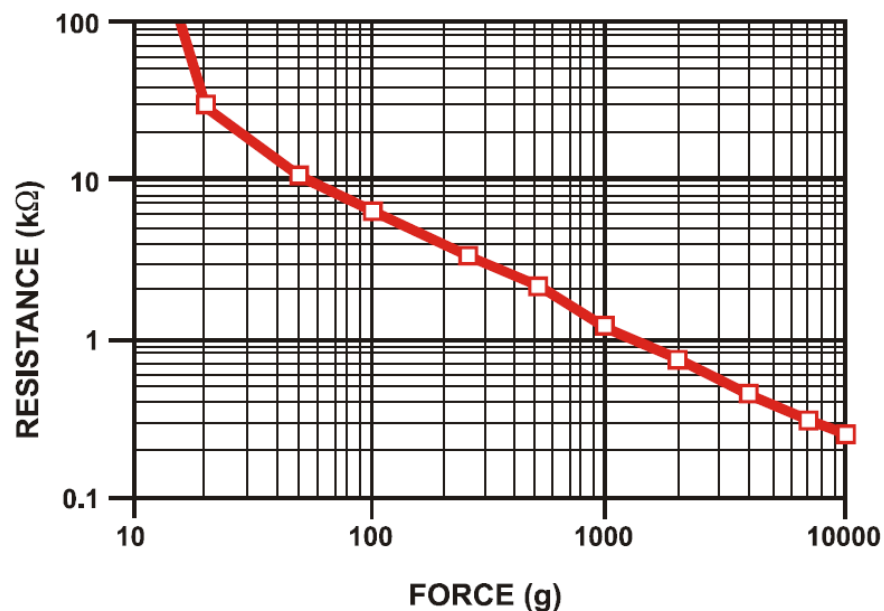
FSR nejsou snímače zatížení nebo tenzometry, i když mají podobné vlastnosti. FSR nejsou vhodné pro velmi přesné měření.

FSR senzory se hodí pro celou řadu aplikací, jako je snímání síly a polohového snímání. Působí v celé řadě odvětví. Například v průmyslové automatizaci, automobilovém průmyslu, robotice, vojenském odvětví i v lékařství. [6], [7], [8], [9]



Obr. 3. FSR konstrukce [6]

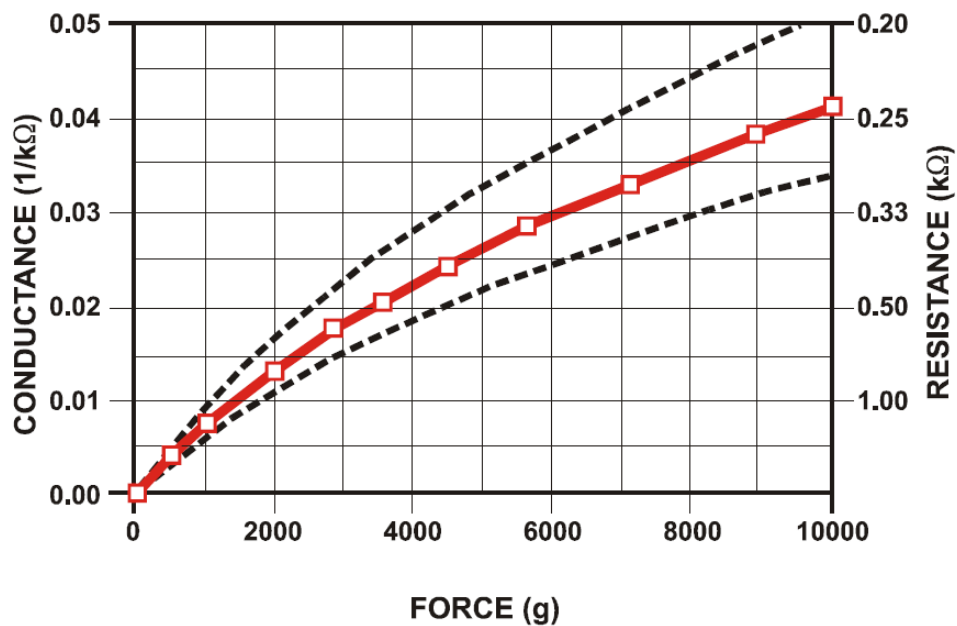
3.2 ZÁVISLOST ODPORU NA PŮSOBÍCÍ SÍLE



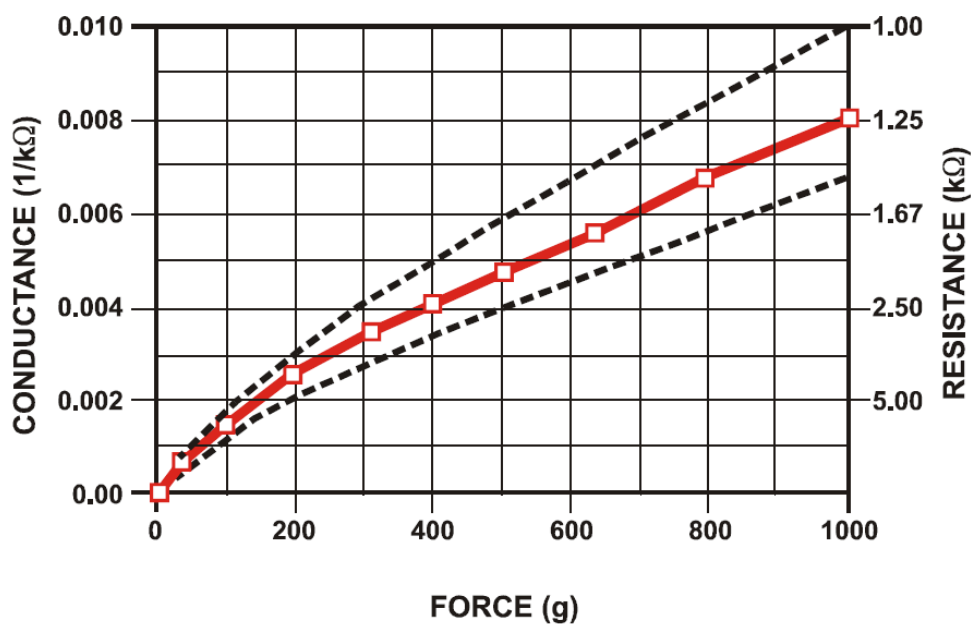
Obr. 4. Průběh odporu na působící síle [7]

Charakteristika je získána z měření na senzoru modelu 402, kde je aktivní plocha senzoru kruhová o průměru 0,5" (12,7 mm). Působící síla je rozložena na celé aktivní ploše senzoru. Data jsou vykreslena na logaritmické stupnici. Při nezatíženém senzoru je odpor maximální a to více než 100 kΩ. Z grafu je zřejmé, že s rostoucí působící silou na senzor velikost odporu klesá. [7], [8]

3.3 ZÁVISLOST VODIVOSTI NA PŮSOBÍCÍ SÍLE



Obr. 5. Závislost vodivosti na působící síle (0 – 10 kg) [7]

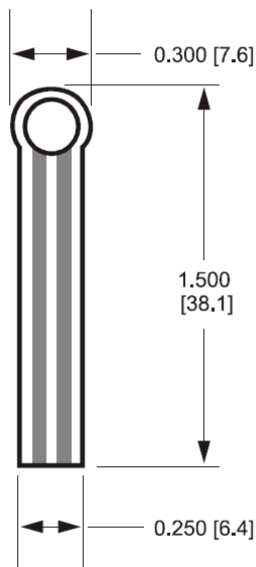


Obr. 6. Závislost vodivosti na působící síle (0 – 1 kg) [7]

Charakteristiky jsou získány s využitím jednoduchého zapojení proudovo–napětového děliče. Z grafů je vidět, že vodivost je takřka lineární na působící síle. Rovněž lze vidět, že charakteristika je více lineární, jakmile je senzor zatížen menší silou. [7], [8]

3.4 DRUHY FSR SENZORŮ

3.4.1 Model 400

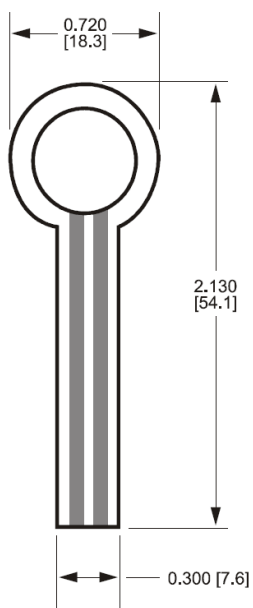


Obr. 7. FSR senzor model 400 [6]

Parametry

Aktivní plocha (průměr)	0,2'' (5 mm)
Tloušťka	0,012'' (0,3 mm)
Rozsah síly	1 – 100 N
Teplotní rozsah	-30 až + 70 °C

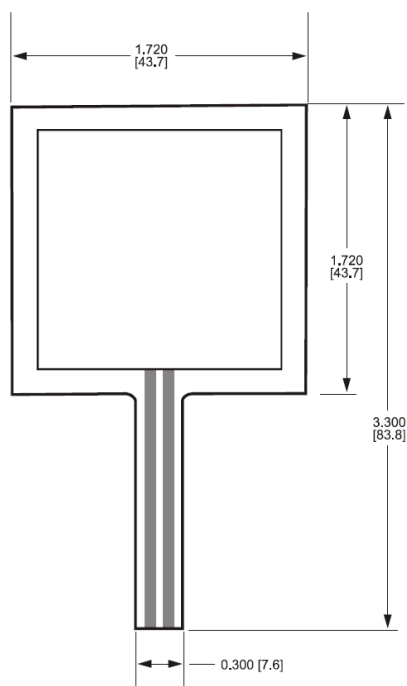
3.4.2 Model 402



Obr. 8. FSR senzor model 402 [6]

Parametry

Aktivní plocha (průměr)	0,5" (12,7 mm)
Tloušťka	0,018" (0,46 mm)
Rozsah síly	1 – 100 N
Teplotní rozsah	-30 až + 70 °C

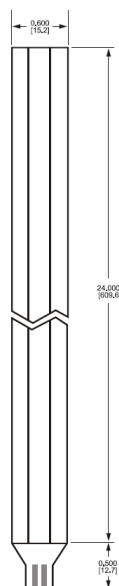
3.4.3 Model 406

Obr. 9. FSR senzor model 406 [6]

Parametry

Aktivní plocha	1,5" (38,1 mm) x 1,5" (38,1 mm)
Tloušťka	0,018" (0,46 mm)
Rozsah síly	1 – 100 N
Teplotní rozsah	-30 až + 70 °C

3.4.4 Model 408



Obr. 10. FSR senzor model 408 [6]

Parametry

Aktivní plocha	24" (609,6 mm) x 0,25" (6,3 mm)
Tloušťka	0,135" (0,34 mm)
Rozsah síly	1 – 100 N
Teplotní rozsah	-30 až + 70 °C

3.5 KONEKTORY SENZORŮ

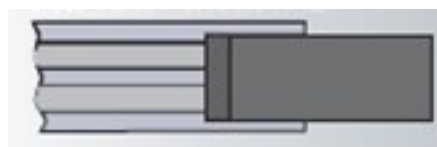
Holý konec



Tenký female kontakt



Tenký female kontakt s domkem



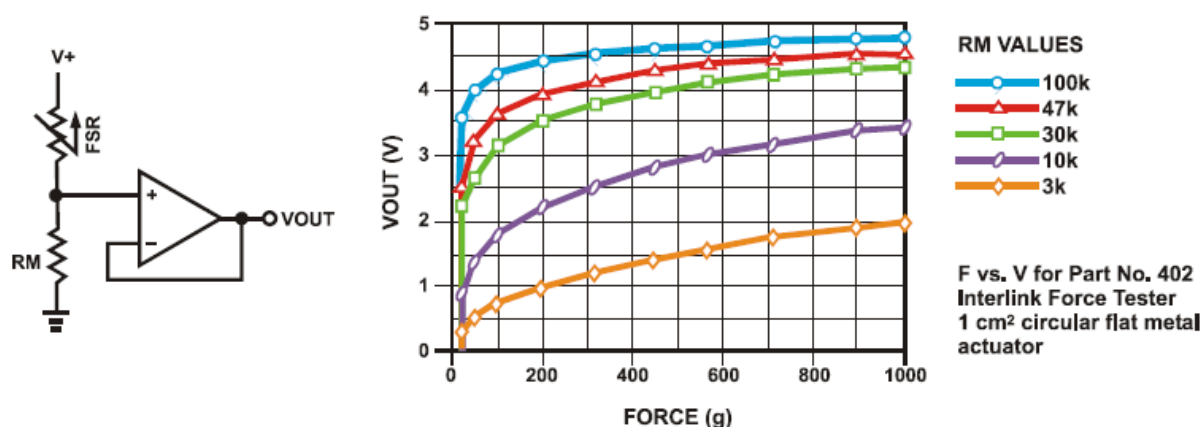
Pájecí kontakt



Obr. 11. Konektory senzorů [8]

3.6 DOPORUČENÁ ELEKTRICKÁ ZAPOJENÍ FSR SENZORŮ

Dělič napětí



Obr. 12. Dělič napětí a Průběh napětí na působící síle [7]

Slouží pro jednoduchý převod působící síly na napětí, FSR je měřením odporu v děliči napětí.

Výstupní napětí odpovídá vztahu:

$$V_{OUT} = (V+) / [1 + R_{FSR}/R_M]. \quad (1)$$

Dle vztahu je patrné, že s rostoucí působící silou na senzor se výstupní napětí zvyšuje. Pokud budou odpory R_{FSR} a R_M prohozeny, tak bude napětí klesat. Nastane-li situace, že odpory R_{FSR} a R_M budou totožné, bude výstupní napětí dle vztahu:

$$V_{OUT} = (V+) / 2 \quad (2)$$

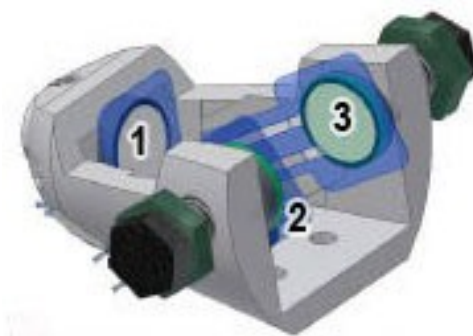
Odpor R_M je vybrán pro maximalizaci rozsahu požadované citlivosti síly a k omezení proudu. Proud protékající přes FSR by měl být omezen na hodnotu menší než 1 mA na čtvereční centimetr aplikované síly. [7]

3.7 APLIKACE FSR SENZORŮ

3.7.1 Haptické zařízení: Senzorický náprstek

Jedná se o malý, lehký silový senzor vybavený hmatovým zařízením, kterým může uživatel snadno manévrovat. V haptickém rozhraní operátor spolupracuje s virtuálním displejem, který může měnit na základě vizuální, taktilní nebo hmatové zpětné vazby. V haptických aplikacích musí vhodně přiléhavý mechanismus umožnit uživateli tlačit, mačkat nebo uchopit objekt.

Do lehkého (8 g) náprstkovitého zařízení, který se umístí na operátorovy prsty, jsou integrovány silové senzory FSR. Geometrie zařízení je velmi podobná lidskému prstu. Díky své konstrukci poskytuje větší flexibilitu a přirozené zkoumání objektů než tradiční hmatové konce efektorů. Silové snímače jsou použity pro odhad sil, kterými operátor působí na konkrétní místa při různých manipulacích. FSR snímače byly vybrány díky své tloušťce 0,2 mm, lehké hmotnosti, specifickému výkonu a opakovatelnosti, která je $\pm 2,5\%$. [10]



Obr. 13. 3D model senzorického náprstku. [10]



Obr. 14. Prototyp senzorického náprstku. [10]

3.7.2 Měření síly při intubaci

V obtížných situacích při intubaci nastává riziko poškození měkkých tkání dutiny ústní a horních řezáků u pacienta. Proto byla laryngoskopická čepel vybavena silovými senzory, které byly po nástroji rozmístěny tak, aby zaznamenávaly síly vzniklé od kontaktu řezáků a měkké tkáně v ústech s nástrojem. Využitím silových senzorů u intubace má za následek, že zákrok byl proveden šetrněji vůči pacientovi a ten neměl následné potíže s dutinou ústní. [11]



Obr. 15. Laryngoskopická čepel s kamerovým systémem. [11]

3.7.3 Citlivá vložka do bot

Prvotním cílem tohoto projektu byla pomoc astronautům získat znovu rovnováhu při návratu na Zemi po dlouhé době strávené ve vesmíru v nulové gravitaci.

Následně se výzkum přenesl na pomoc starším lidem, aby se mohli vyhnout pádům.

Bota obsahující tuto vložku pak nese název iShoe. Vložka obsahuje silové senzory, které čtou jak je osoba dobře vyvážená. Přesněji řečeno, jak je rozložena váha člověka na chodidlo. Jde o to, shromáždit pro lékaře co nejvíce informací o chůzi člověka a vyvodit závěr dříve než se stane úraz.

Jen v Americe ročně utrpí přes 300 000 lidí zlomeninu kyčle po pádu z důvodu špatné chůze a tím i nevyvážení celého těla. Nasazením citlivostní vložku vybavenou senzory do bot a následné konzultaci s odborníky se tento počet značně sníží. [12]



Balance shoe-in

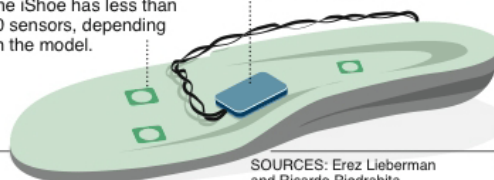
An "iShoe" insole contains sensors that read how well a person is balancing. The purpose is to gather information for doctors and get people to a specialist before they fall.

The iShoe has less than 10 sensors, depending on the model.

About the "iShoe"

Worn continuously, data from the sensors is transferred by Bluetooth network for computer analysis of balancing ability.

Sensors are powered by a nickel-sized battery.



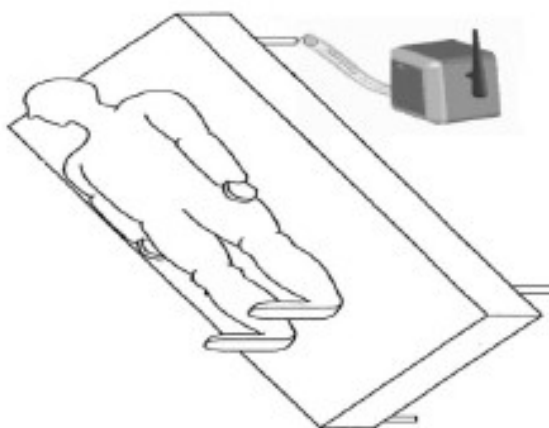
Obr. 16. Vložka do bot osazena silovými senzory. [12]

3.7.4 Monitorovací lůžko pro seniory

Jedná se o systém Home Monitoring pro starší osoby nebo zdravotně postižené, kteří žijí sami. Může taky zlepšit kvalitu života rodinám, které žijí se seniory popřípadě s tělesně postiženými lidmi, potřebující stále větší dohled.

Například nasazení monitorovacích lůžek v pečovatelských domech. Vezmeme v úvahu, že pacient pravidelně vstává z postele v 7:00 hodin. Může se stát, že pacient v 8:00 ještě z postele nevstal. Z toho lze vyvodit, že se mohlo něco stát. Tento fakt se oznámí pečovateli. Jedná-li se o domácí bydlení, nikoli v pečovatelském domě, lze oznámení zaslat přes SMS zprávu rodině, která následně může reagovat.

Monitorovací lůžko je vlastně obyčejné lůžko se strategicky umístěnými silovými senzory pod nohami postele. Jedná se o kontrolu, zda na posteli někdo je nebo není. Na základě kalibrace senzorů, může systém potvrdit, zda síla vyvolaná působením na postel je od lidského jedince, od zvířete nebo neživého předmětu. [13]



Obr. 17. Monitorovací lůžko. [13]

3.7.5 Měření síly sevření čelistí

V dnešní době se stalo přesné měření sevření čelistí důležitým bodem mezi ostatními ergonomickými zlepšeními. V minulosti byl problém s omezeným prostorem pro měření. Snímače byly drahé a objemné, tlakové filmy pracovaly pouze relativním měřením odrážející maximální tlak. Dnes jsou nasazovány silové senzory pracující na změně odporu (FSR). Silové senzory jsou rozmístěny na čelistech, přes které se síla stisku převádí na analogové napětí, které je zpracováno a vyhodnoceno. [14]



Obr. 18. Model robotu s čelistmi, které mohou být osazeny silovými senzory. [14]

3.7.6 Měření síly stisku čelistí u živočichů

Stisk čelistí u ještěrek

Byl proveden experiment ke zjištění síly skusu čelistí a frekvence skousnutí čelistí u jednotlivých druhů ještěrek. Po experimentu bylo zjištěno, že některé druhy ještěrek jsou agresivnější než ostatní a to díky tomu, že jejich frekvence skousnutí čelistí v daném časovém úseku byla mnohonásobně větší. Oproti tomu byla jejich síla stisku čelistí menší než u těch druhů, které měly menší intenzitu skousnutí čelistí.

K tomuto experimentu se perfektně hodily FSR senzory malých rozměrů. [15]



Obr. 19. Měření síly stisku čelistí u ještěrky. [15]

Stisk čelistí u T-Rexe

Experiment pro zjištění síly čelistí u vyhynulého Tyranosaure Rexe byl proveden pomocí kosterních pozůstatků. Nálezy kosterních pozůstatků obětí T-Rexe ukazovaly, v jaké hloubce byl zaryt zub T-Rexe. Následně nalezený zub predátora byl umístěn do hydraulického lisu, kde se zarával do hovězích kostí, které nejbližší odpovídaly pradávným obětem T-Rexe. Poslední změřené údaje stisku tyranosaura se pohybují v rozmezí 50-80 kN. [15]

Poté byly provedeny měření síly skusu čelistí u žijících živočichů za pomoci FSR senzorů. [15], [16]

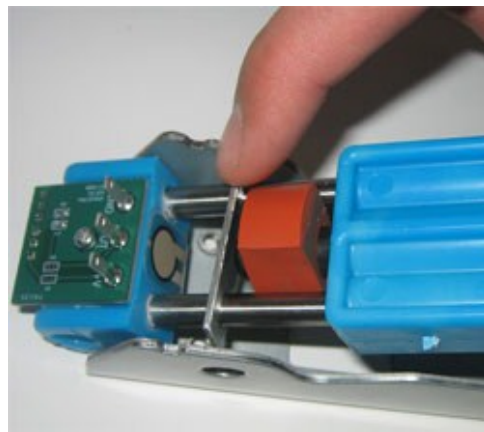
Krokodýl a aligátor	9,46 kN
Hyena	4,41 kN
Lev	4,17 kN
Malý žralok	1,37 kN
Rekordní stisk člověka	0,75 kN



Obr. 20. Měření síly stisku čelistí u krokodýla. [15]

3.7.7 Citlivější brzdový pedál u PC her

Většina brzdových pedálů pro závodní hry obsahuje potenciometr. To znamená, že brzdový pedál, musí cestovat určitou vzdálenost. Daným polohám náleží patřičný brzdný účinek. V reálném životě mají závodní vozy jiný brzdný mechanismus, kde stlačením tvrdé brzdy získáváme větší brzdnou sílu. Tato změna zvyšuje celkový prožitek a uživatelskou zkušenost. [17]



Obr. 21. Herní brzdový pedál osazený FSR senzorem. [17]

Zatížení senzoru měří sílu působící na brzdový pedál, než aby byla měřena vzdálenost posunutí pedálu. Využití FSR senzoru simuluje brzdový pedál u závodních automobilů. FSR senzor je vhodný u této aplikace zejména díky jeho malým rozměrům a opakovatelnosti. [17]

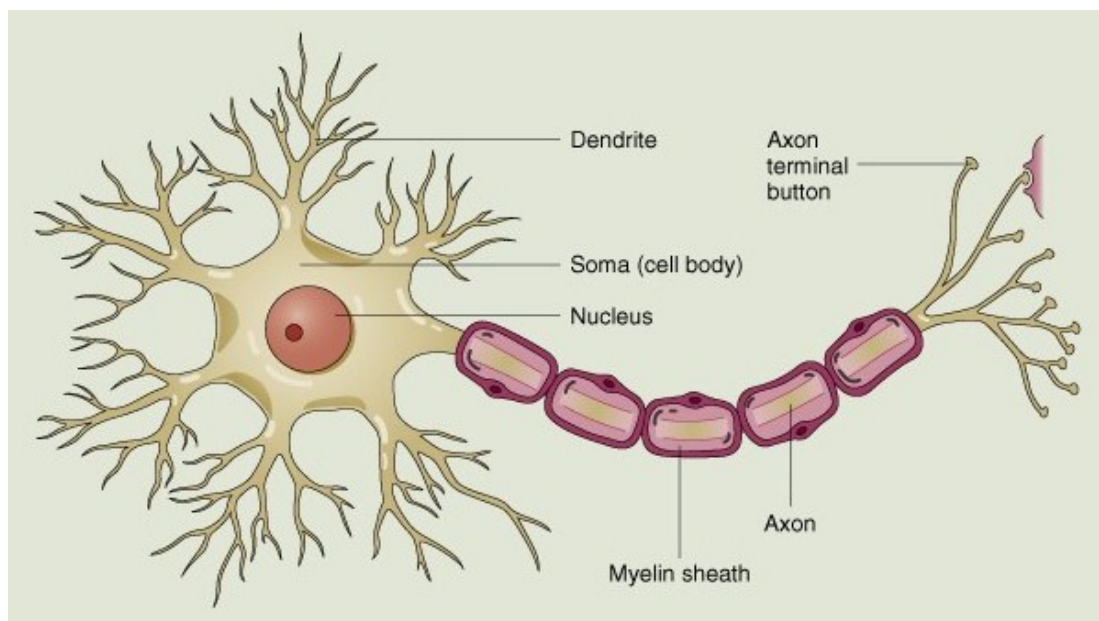
4. NEURONOVÁ SÍŤ

Neuronová síť je jeden z výpočetních modelů používaných v umělé inteligenci, skládající se z umělých neuronů. Vzor pro umělou neuronovou síť je biologický neuron. Neurony jsou mezi sebou navzájem propojeny a předávají si signály, které transformují pomocí určitých přenosových funkcí. Počet vstupů u neuronu je libovolný, naopak obsahuje pouze jeden výstup. K podstatným vlastnostem neuronových sítí bezesporu patří schopnost učit se.

Využití neuronové sítě lze v mnoha oblastech. Používají se například pro rozpoznání a kompresi obrazu nebo zvuku. Předvídání časových řad. V lékařství se využívá k prohlubování znalostí o fungování nervových soustav živých organismů. [5]

4.1 BIOLOGICKÝ NEURON

Hlavním prvkem biologického neuronu je vlastní jádro. Z jádra vychází pouze jediný výstup, který je rozvětven na tzv. terminály. Výstup z jádra se nazývá axon. Dendridy připojené k jádru reprezentují vstupy. Tyto vstupy jsou spojeny přes synaptické spoje s axony jiných neuronů. Mohou být také napojeny na externí čidla, přijímající informace z vnější soustavy. K jedinému neuronu jsou informace přenášeny až 100 tisíce dendridy. Délka axonu se může pohybovat kolem 1 metru. Lidská mozková kůra obsahuje až 15 miliard neuronů. [5], [18], [19]

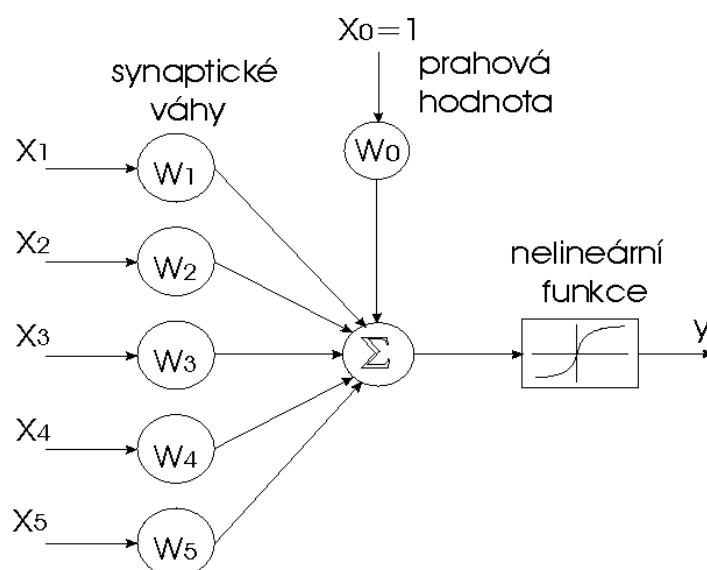


Obr. 22. Biologický neuron [19]

4.2 UMĚLÝ NEURON

V umělém neuronu se funkce biologického neuronu nahrazuje funkcemi matematickými. Existuje celá řada různých typů modelů umělých neuronů, které se navzájem liší vlastní topologií a matematickými funkcemi, popisující jejich chování. Nejpoužívanější model umělého neuronu je od autorů McCullochova a Pittsa. [5], [18], [19]

4.2.1 Schéma jednoho umělého neuronu



Obr. 23. Schéma umělého neuronu [19]

Vstupní hodnoty umělého neuronu jsou vynásobeny příslušnými váhovými koeficienty a v sumátoru se sečtou. Výsledek ze sumátoru vstupuje do funkce, na *obrázku 23* se jedná o nelineární funkci. Výsledná hodnota funkce, výstup umělého neuronu, se dále přivede na vstup dalších neuronu jako vstupní hodnota. Rovněž lze na *obrázku 23* nalézt jeden zvláštní vstup, který vstupuje do sumátoru. Na tuto vstupní větev není připojen žádný výstup z jiného umělého neuronu. Přivádí se zde konstantní veličina. Veličina funguje jako prahová hodnota při aktivování výstupu. Jakmile výstupní hodnota ze sumátoru nepřesahuje prahovou hodnotu, tak se neuron neaktivuje a výstup neuronu zůstane nezměněn. [5], [18], [19]

Matematický popis neuronu

$$y = F \left(\sum_{i=1}^n x_i w_i + \theta \right) \quad (3)$$

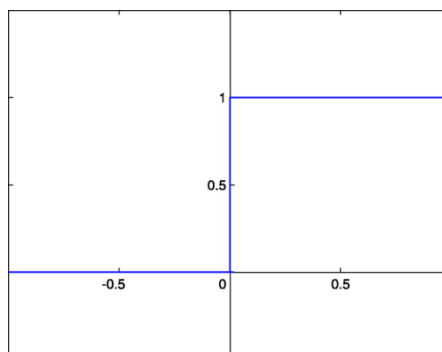
- x_i – hodnota na i-tém vstupu
- w_i – váha i-tého vstupu
- θ – prahová hodnota
- n – počet vstupů
- F – funkce
- y – výstupní hodnota

4.2.2 Příklady Přenosových funkcí

Skoková přenosová funkce

- Pro vstup menší než daná mez je výstupní hodnota nula. Pro vstup větší a včetně nuly je výstupní hodnota jedna.

$$f(x) = 0 \text{ pro } x < \theta, f(x) = 1 \text{ pro } x \geq \theta \quad (4)$$

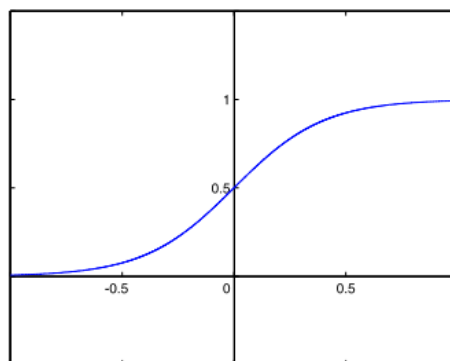


Obr. 24. Skoková přenosová funkce [18]

Sigmoidální přenosová funkce

- Hodnoty této funkce se v mínus nekonečnu blíží k nule a v plus nekonečnu se blíží k jedničce.
- Výhoda oproti skokové funkci je ta, že má spojitou první derivaci v každém bodě.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-kx}} \quad (5)$$

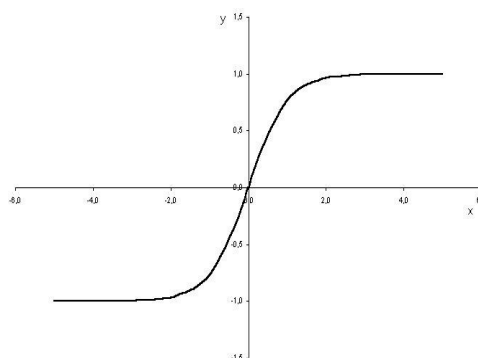


Obr. 25. Sigmoidální přenosová funkce[18]

Přenosová funkce hyperbolické tangenty

- Výstupní hodnota se blíží k mínus jedné při mínus nekonečnu a jedničce v nekonečnu. V nule je hodnota výstupu nula.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-kx}} - 1 \quad (6)$$



Obr. 26. Přenosová funkce hyperbolické tangenty[18]

4.3 UMĚLÁ NEURONOVÁ SÍŤ

Umělá neuronová síť je ve skutečnosti pole jednoduchých výkonných prvků, neuronů. Systém bude úměrně silný, podle počtu neuronů v síti. Síť s velkým počtem neuronů umožňuje různě propojovat vstupy a výstupy neuronů, zvýhodnit, popřípadě zamezit některé vstupy. Dokonce lze minimalizovat vliv nesprávně fungujícího neuronu v síti.

Problémy se začínou vyskytovat při snaze realizovat velmi složité struktury, kde realizace propojení velkého počtu neuronů je velmi obtížná. Další problém je ten, že neexistuje jednoznačný postup při tvorbě složitých struktur. [5], [18], [19]

Struktura sítě

Neuronová síť se skládá ze tří vrstev neuronů:

Vstupní vrstva

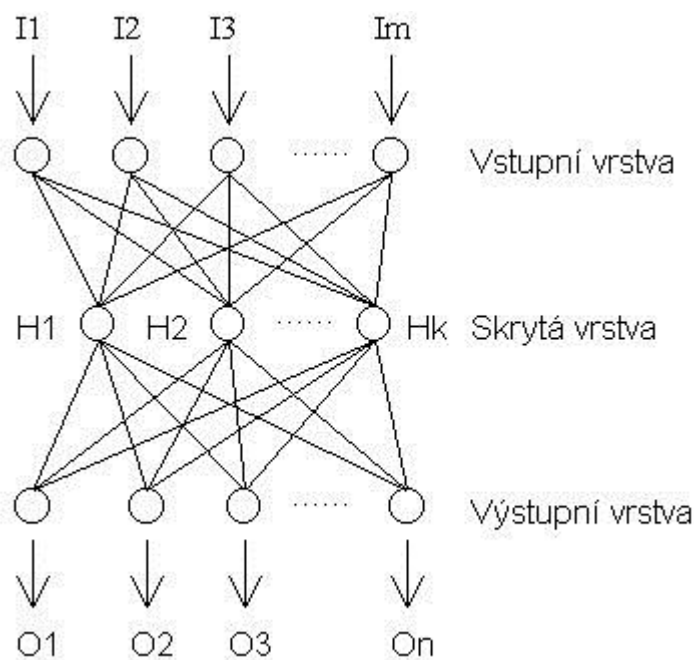
- Slouží jen jako vstup do další vrstvy

Skrytá vrstva

- Obvykle obsahuje více neuronů, vrstev než zbývající vrstvy, zpracovávají se zde signály

Výstupní vrstva

- Převádí výsledky ze skryté vrstvy na výstupy



Obr. 27. Vícevrstvá neuronová síť [19]

4.4 UČENÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ

Hlavním důvodem učení neuronových sítí je naučit síť pracovat tak, aby byly výsledky správné. Správných výsledků lze dosáhnout tak, že budou nastaveny správné váhy u jednotlivých vazeb. Učením tedy nastavujeme takové váhy, aby výsledek sítě odpovídal zadaným požadavkům. [5], [18], [19]

Učení neuronových sítí se rozlišuje:

- Učení bez učitele
- Učení s učitelem

Učení bez učitele

Při této metodě učení není postaven základ na vyhodnocování výstupů. Výstup při tomto typu učení není znám. Do sítě vstupuje sada vzorů, které si sama zpracovává a třídí. Vzory se třídí do skupin a porovnávají se s typickými zástupci. Při porovnávání se vždy aktivuje pouze jediný, jednoznačně určený zástupce a ten je výstupem pro zaslaný vstupní vzor.

Typickým představitelem tohoto učení je metoda Kohonenova síť a síť ART. [5], [18], [19]

Učení s učitelem

U této metody učení je hlavní rozdíl oproti učení bez učitele ten, že tato metoda obsahuje zpětnou vazbu, jak je u biologických sítí.

Nejprve se na vstup do sítě pošle vzor a na základě aktuálního nastavení sítě je zjištěn výsledek. Tento výsledek se porovná s požadovaným výsledkem a určí se chyba. Poté je přepočtena korekce a upraví se hodnoty vah k docílení snížení chyby. Tento krok se opakuje do té doby, dokud není chyba v námi zadané toleranci. Následně je neuronová síť adaptovaná.

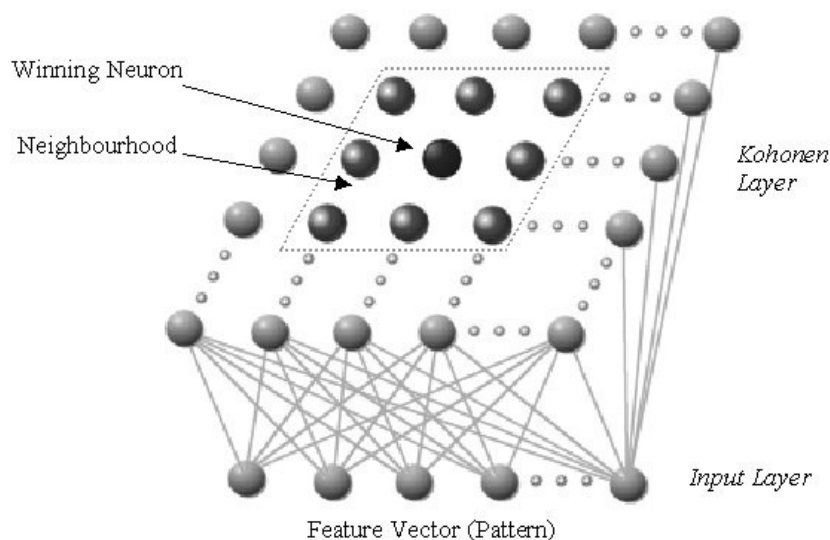
Typickým představitelem tohoto učení je Back Propagation metoda, Hopfieldův model a Perceptronova metoda. [5], [18], [19]

4.5 JEDNOTLIVÉ NEURONOVÉ SÍTĚ**Kohonenova síť**

Síť se skládá ze dvou vrstev. První vrstva je složena z n vstupních neuronů a druhá je sestavena z Kohonenových neuronů. Tyto Kohonenovy neurony jsou vzájemně propojeny každý s každým. Do všech Kohonenových neuronů přichází spoje ze všech vstupních neuronů. Každý tedy čte vstupní vektor x . Tyto neurony neobsahují pouze vstupní vektor x , ale i vektor synaptických vah w . Tento vektor se získá vynásobením vstupního vektoru x se synaptickými vahami. Podstata Kohonenovy sítě je ta, že vektor synaptických vah a vstupní vektor zaujímá totožný prostor.

Kohonenovy neurony se navzájem ovlivňují, po krátké době se síť ustálí do takového stavu, kdy bude vybuzený pouze jediný neuron. V této síti reaguje na vstup pouze ten neuron, který je vstupu nejvíce podobný.

Tento druh sítě se učí celý život a nemá fázi učení. Jedná se tedy o síť s učením bez učitele. Učit tuto síť lze pouze za provozu. [5]



Obr. 28. Kohonenova síť [19]

ART (Adaptive Resonance Theory) síť

Síť ART funguje na principu adaptivní rezonanční teorie. Je-li přiveden vzor na vstup sítě, dojde k dopřednému i zpětnému šíření signálu. Jedná se tedy o paralelní síť, učící se bez učitele. Je vhodná k rozpoznávání obrazců.

Síť je složena ze dvou vrstev. První, tak zvaná porovnávací vrstva a druhá rozpoznávací vrstva. Obě vrstvy jsou propojeny obousměrně vahami. V porovnávací vrstvě se porovnávají vkládané vzory s již dříve vloženými. Podle výsledku porovnání nastavuje dopředné váhy spojení. Rozpoznávací vrstva rozděluje vstupní vzory do kategorií. Cílem této vrstvy je porovnávání podobnosti vstupních vzorů s nadefinovanými vzory. Síť ART má také vnější řídicí část, nazývanou test bdělosti. Jedná se o měřítko, jak hodně si mohou nebo musí být vzory podobné.

Mezi hlavní nasazení sítě ART je kategorizace vstupních dat a to jak binárních, tak i reálných. Princip určování výstupu v síti je v hlavní myšlence totožný jako je u Kohonenovy sítě. Liší se pouze tím, že ART síť akceptuje vstup jen tehdy, pokud je dostatečně podobný již některému existujícímu prototypu nějaké kategorie. Pokud tomu tak není, vytvoří se nová kategorie. Vznikne tak nová vstupní buňka se svým vstupem jako svým prototypem.

V drtivé většině neurony v sítích ART pracují se sigmoidální přenosovou funkcí, ta je zobrazena na *obrázku 25*. [5], [19]

Typy sítě ART:

ART-1 síť

Jedná se o základní variantu sítě ART. Obsahuje pouze rozpoznávací a porovnávací vrstvu. Síť se učí bez učitele a pracuje pouze s binárními hodnotami. Počet vstupů je shodný jako počet vstupních neuronů porovnávací vrstvy. Počet neuronů v rozpoznávací vrstvě určuje, kolik vzorů je síť schopna se naučit. Používá se nejen k predikci, ale také ke kvalifikaci. [18], [19]

ART-2 síť

Jedná se o stejný princip jako u sítě ART-1 s tou odlišností, že tato síť může pracovat i s reálnými hodnotami na vstupech. [18], [19]

Art-3 síť

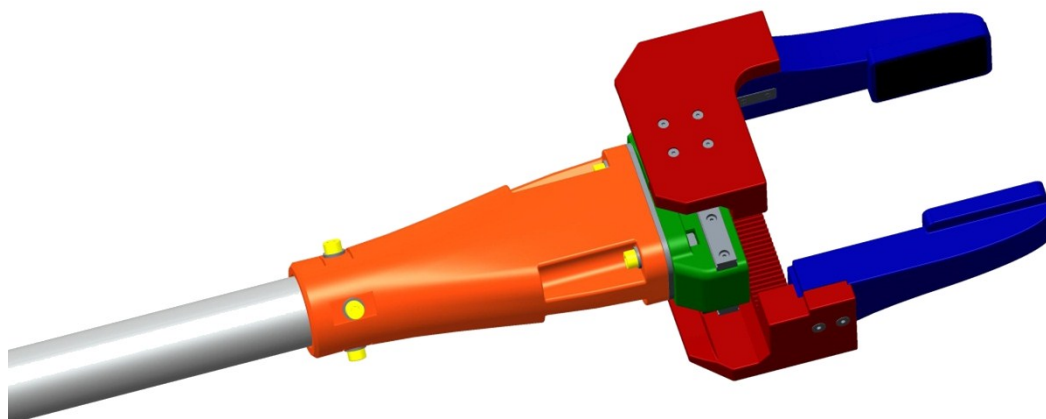
Síť ART-3 je postavena na stejném základu jako síť ART-2. Rovněž dokáže pracovat s reálnými hodnotami na vstupech, ale dokáže navíc zpracovávat spojitě chování vstupů v čase. [18], [19]

ARTMAP síť

Nazývaná také jako Predictive ART. Z názvu vyplývá, že tato síť je vhodná zejména k predikci. Síť dokáže v reálném čase z předchozích hodnot předpovídat výstupní hodnoty. ARTMAP je složena ze dvou sítí ART a ty jsou propojeny polem, to zajišťuje jejich správnou funkci. [18], [19]

5. MODEL RAMENE STARGATE

Rameno StarGate, na kterém bude prováděna diplomová práce.



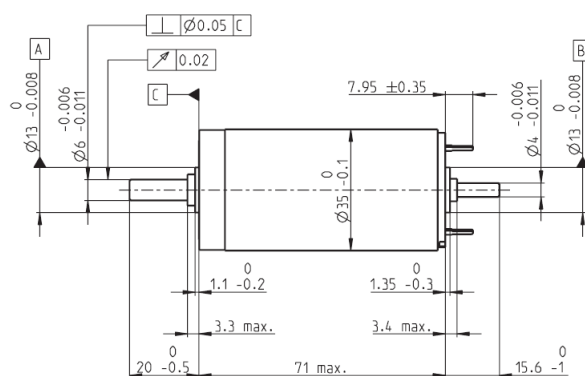
Obr. 29. Model ramene StarGate v původní podobě.

Rameno StarGate složené z ramene a efektoru bylo vytvořeno katedrou robototechniky pro robot Hercules. Efektor, zhotovený za pomoci 3D tisku z polykarbonátu tiskárnou FORTUS 360mc je připevněn k hliníkové trubce. Rameno StarGate slouží pro výzkumné činnosti a prezentaci katedry Robototechniky.

5.1 POHON EFEKTORU

Motor RE 35

Hnací jednotka je 90 wattový stejnosměrný motor s permanentním magnetem typu RE od firmy Maxonmotor. [21]



Obr. 30. Stejnosměrný motor RE 35[21]

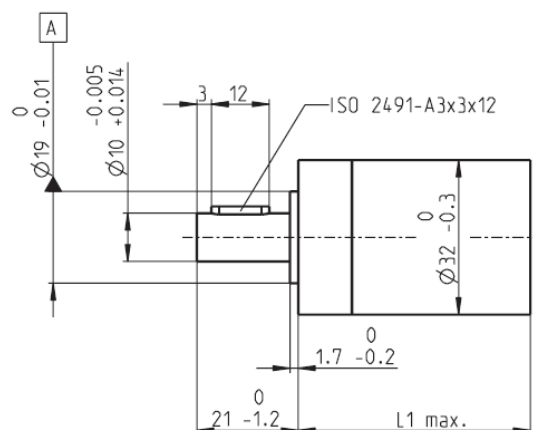
Technické parametry motoru RE 35

Jmenovité napětí	24 V
Otáčky naprázdno	7670 min ⁻¹
Jmenovité otáčky	6910 min ⁻¹
Jmenovitý proud	3,36 A
Rozběhový proud	39,7 A
Jmenovitý krouticí moment	93,3 mNm
Maximální účinnost	84 %
Moment setrvačnosti rotoru	78,7 g·cm ²

Tabulka 1. Technické parametry motoru RE 35[21]

Převodovka GP 32 HP

Planetová převodovka je rovněž od společnosti Maxonmotor. [22]



Obr. 31. Planetová převodovka GP 32 HP[22]

Technické parametry převodovky GP 32 HP

Převodový poměr	246:1
Počet stupňů	4
Maximální průměr vstupní hřídele	6 mm
Maximální trvalý krouticí moment	8 Nm
Maximální občasný krouticí moment	12 Nm
Maximální účinnost	60 %
Moment setrvačnosti	0,7 g·cm ²

Tabulka 2. Technické parametry převodovky GP 32 HP[22]

5.2 RYCHLOST POHYBU ČELISTÍ A SÍLA NA ČELISTECH

Zadané parametry

Motor:

Jmenovité otáčky	$n_M = 6910 \text{ min}^{-1}$
Jmenovitý krout. moment	$M_{jM} = 93,3 \text{ mNm} = 0,093 \text{ Nm}$
Účinnost motoru	$\eta_M = 84\%$

Převodovka:

Převodový poměr	$i = 246:1$
Účinnost převodovky	$\eta_P = 60\%$

Ozubený pastorek:

Průměr roztečné kružnice	$d = 22 \text{ mm}$
--------------------------	---------------------

Výpočet rychlosti pohybu čelistí

Otáčky na ozubeném pastorku:

$$n_P = \frac{n_M}{i} \quad (7)$$
$$n_P = \frac{6910}{246} = 28,09 \text{ min}^{-1} = \mathbf{0,47 \text{ s}^{-1}}$$

Obvod ozubeného pastorku:

$$o_P = \pi \cdot d \quad (8)$$
$$o_P = \pi \cdot 0,022 = \mathbf{0,069 \text{ m}}$$

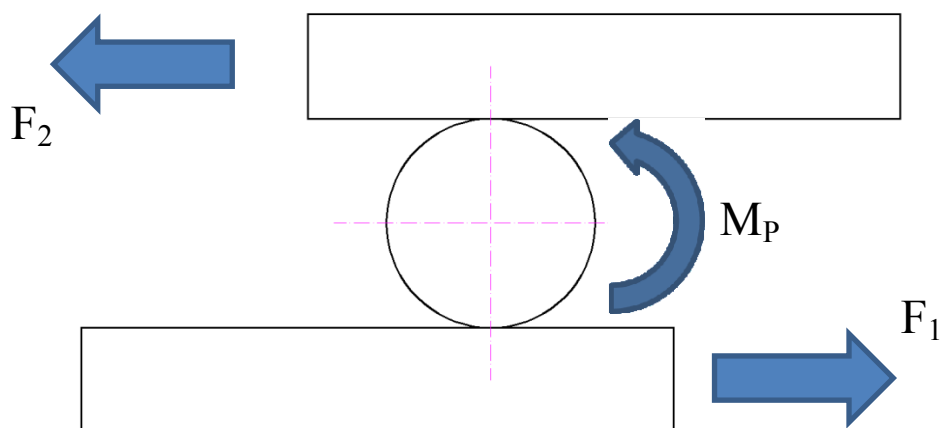
Uražená dráha ozubeného pastorku za sekundu:

$$s_P = n_P \cdot o_P \quad (9)$$
$$s_P = 0,47 \cdot 0,069 = \mathbf{0,03243 \text{ m}}$$

Rychlost pohybu čelistí:

$$v = \frac{s_P}{t} \quad (10)$$
$$v = \frac{0,03243}{1} = 0,03243 \text{ m/s} = \mathbf{32,43 \text{ mm/s}}$$

Výpočet síly čelisti



Obr. 32. Přenos krouticího momentu z ozub. pastorku na ozub. hřebeny

Krouticí moment pohonu:

$$M_P = M_{j_M} \cdot i \cdot \eta_M \cdot \eta_P \quad (11)$$

$$M_P = 0,093 \cdot 246 \cdot 0,84 \cdot 0,6 = \mathbf{11,53 \text{ Nm}}$$

Síla stisku jedné čelisti:

$$F_1 = \frac{2 \cdot M_P}{d \cdot 2} \quad (12)$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 11,53}{0,022 \cdot 2} = \mathbf{524,1 \text{ N}}$$

Objekt manipulace sevřený v efektoru je svírán silou 1048,2N.

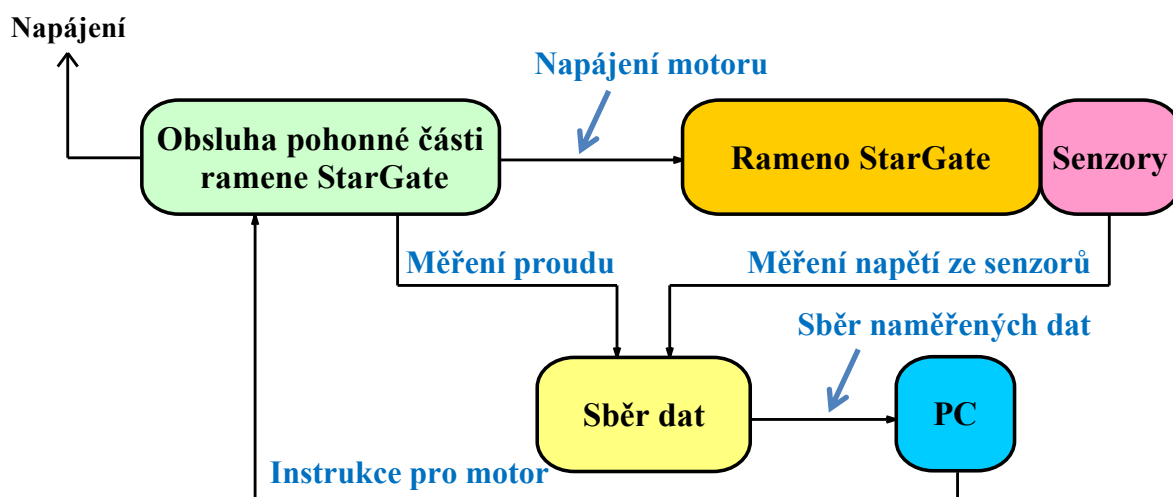
6. POŽADAVKOVÝ LIST

Požadavky:

- Implementace hmatového systému na již vytvořený efektor
- Pro sběr dat a řízení použít dodaný hardware
- Vytvořit funkční zapojení
- Navrhnout a vytvořit software s využitím programu Matlab
 - Sběr a vizualizace vzorků z hmatového systému
 - Řízení motoru
 - Učení neuronové sítě ARTMAP
 - Vyhodnocování tvaru sevřeného objektu dle vstupujících vzorků pomocí neuronové sítě ARTMAP

7. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ

Návrh jednoduchého blokového schématu pro získání prvních poznatků k vytvoření funkčního vzorku. Jednotlivými částmi se bude práce dále detailněji zabírat.

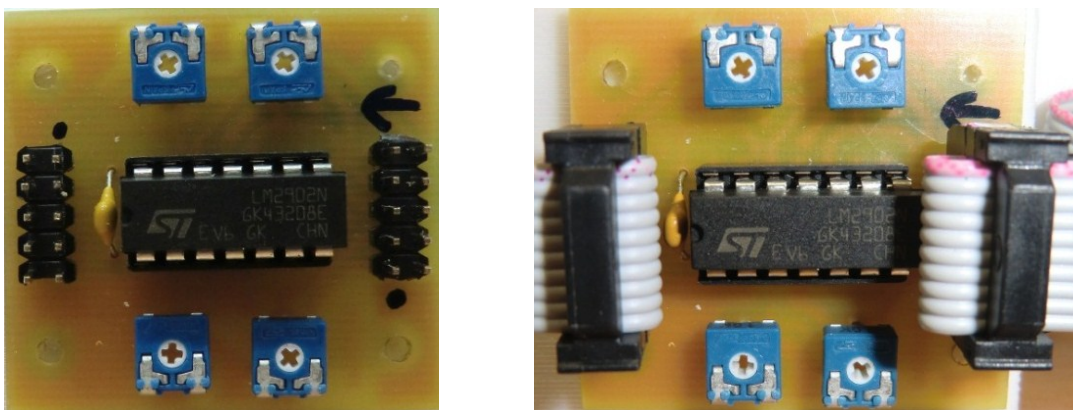


Obr. 33. Blokové schéma zapojení.

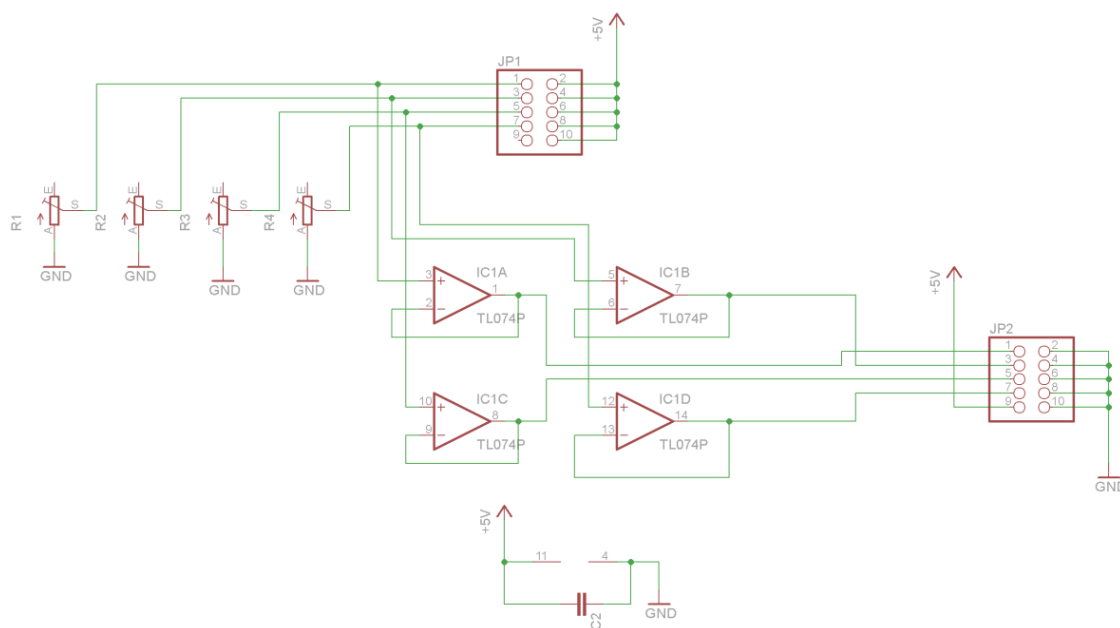
8. REALIZACE ZAPOJENÍ FSR SENZORŮ

Pro danou úlohu bylo použito 8 FSR senzorů typu 402. Na každou čelist efektoru se umístily 4 senzory.

Ve spolupráci Ing. Jána Babjaka byly vytvořeny desky, které se osadily integrovanými obvody a trimry. Deska je rozdělena na dvě části, vstupní a výstupní. Vstupní část, na kterou jsou připojeny FSR senzory, je označena šipkou. [1], [2]



Obr. 34. Deska se zesilovačem a trimry.



Obr. 35. Schématické zapojení desky se zesilovačem LM2902N pro FSR senzory

Deska obsahující integrovaný obvod typu LM2902N může obsluhovat maximálně 4 vstupní zařízení (4 FSR senzory). O zbylé 4 senzory, z druhé čelisti, se stará další deska.

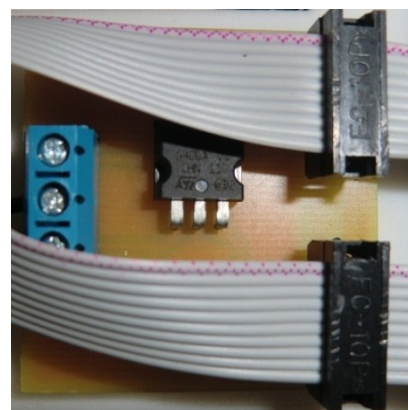
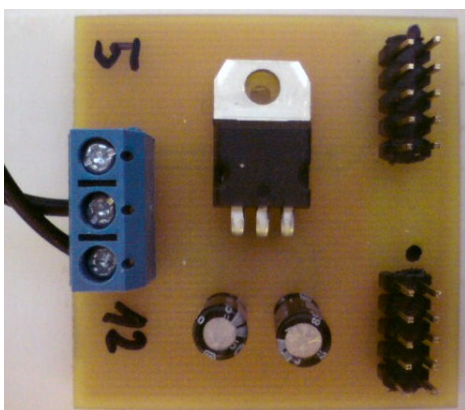
Integrovaný obvod LM2902N se skládá ze 4 nezávislých operačních zesilovačů, které zesilují vstupní analogový stejnosměrný signál. [1], [2]

Napájecí napětí	± 13 nebo 26 V
Diferenční vstupní napětí	$\pm 26\text{ V}$
Vstupní napětí	$-0,3 \div 23\text{ V}$

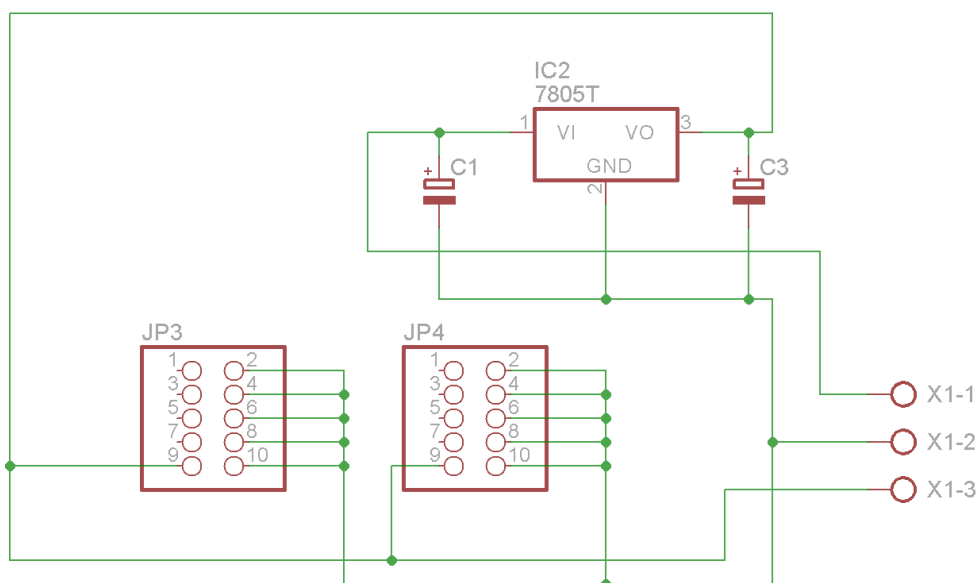
Tabulka 3. Technické parametry IO LM2902N

Jednotlivé trimry umístěné na desce slouží pro úpravu výstupních signálů z operačních zesilovačů.

Napájení obou integrovaných obvodů LM2902N zajišťuje další vytvořená deska. Na tuto desku je přivedeno napájecí napětí z elektrické sítě přes síťový adaptér. [1], [2]



Obr. 36. Deska zajišťující napájení integrovaných obvodů LM2902N



Obr. 37. Schématické zapojení obvodu pro napájení desek se zesilovači LM2902N

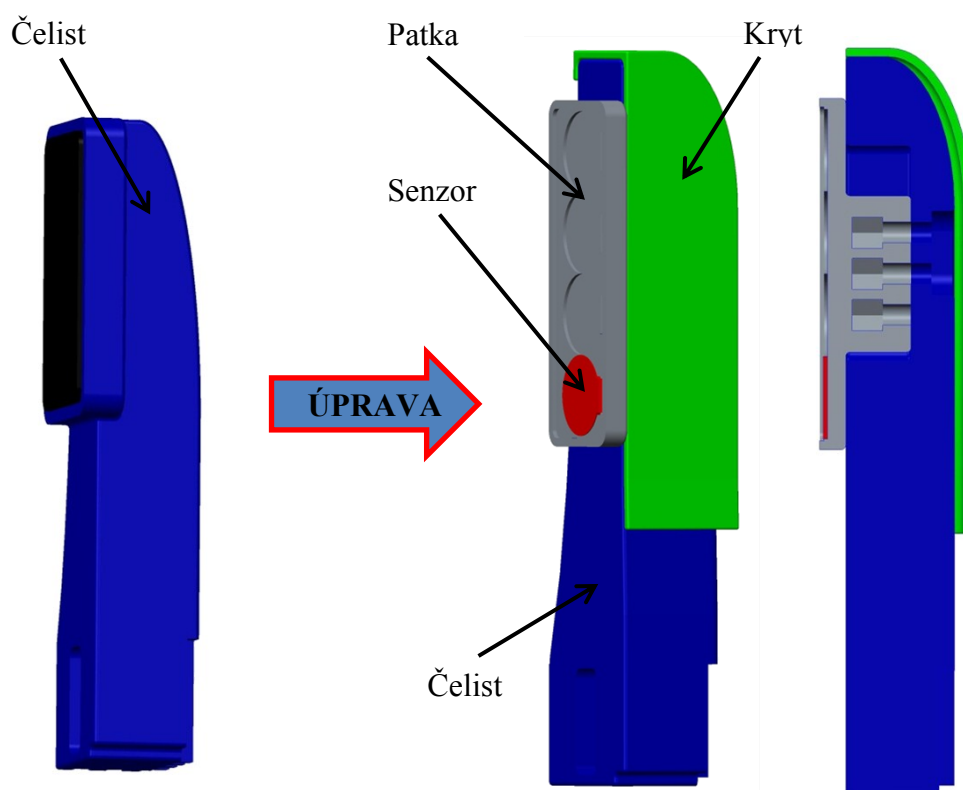
Výstupy z integračních obvodů jsou připojeny na měřicí modul UDAQ 1416AS.



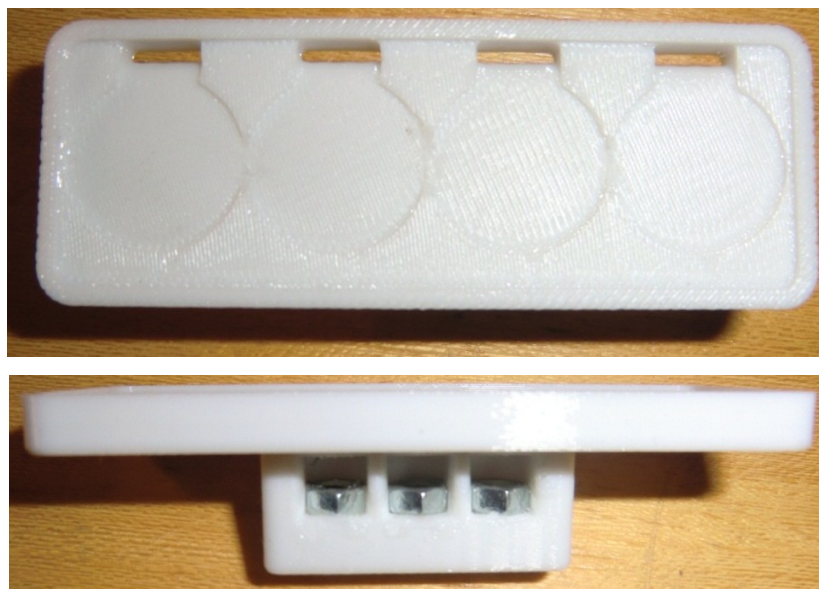
Obr. 38. Připojení výstupů integrovaných obvodů LM2902N na měřicí modul.

8.1 ÚPRAVA ČELISTÍ

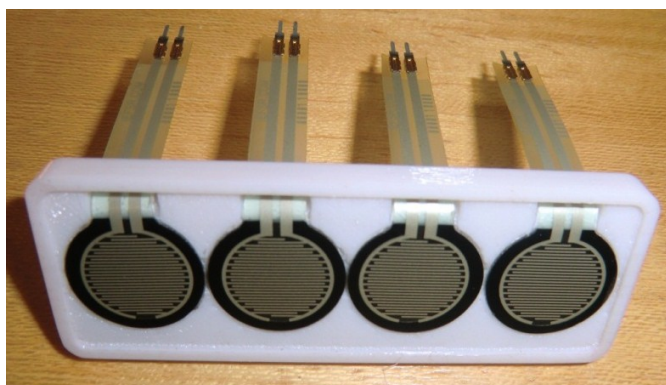
Původní koncepce čelistí efektoru nevyhovovala pro osazení FSR senzorů. Tudíž byly vytvořeny nové čelisti, za podmínek, aby byly zachovány hlavní rozměry čelistí a nezměnil se původní návrh čelistí. Nejprve byl vytvořen model nové čelisti, který sloužil jako základ pro vytvoření vzorku za využití 3D tisku.



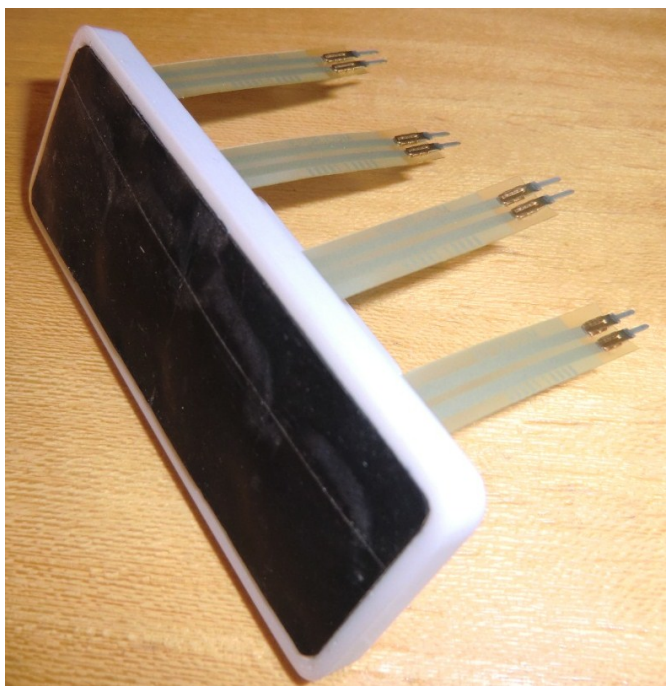
Obr. 39. Model původní čelisti a nově vytvořené pro FSR senzory



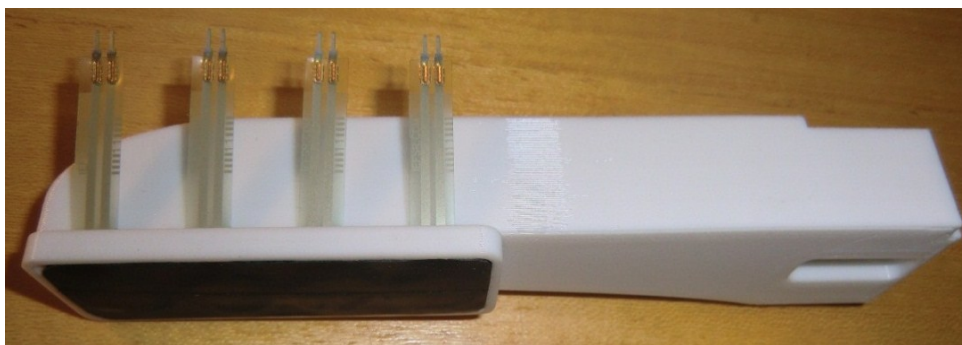
Obr. 40. Vytvořená patka pro FSR senzory a umístěny matice k přimontování



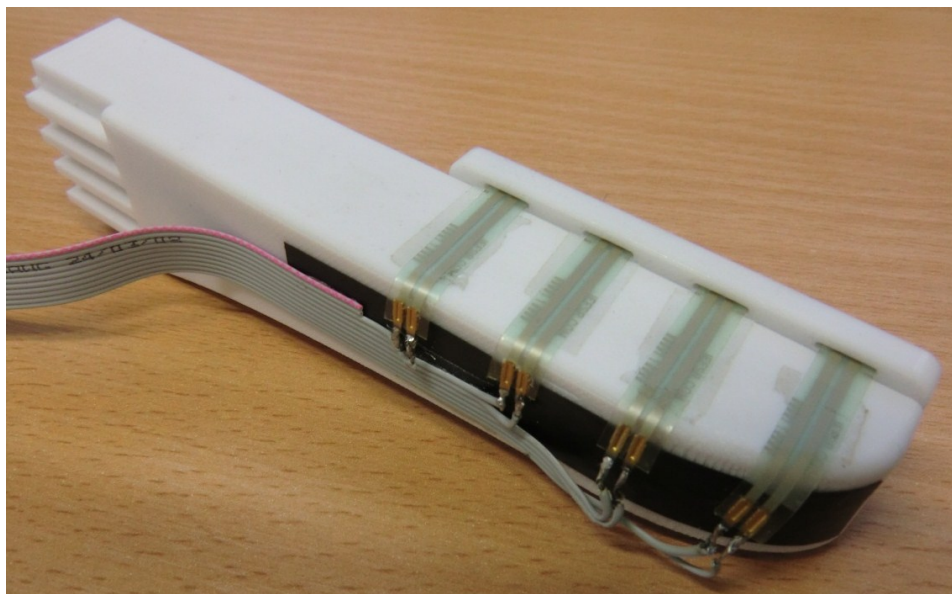
Obr. 41. Přilepené FSR senzory k patce pomocí oboustranné pásky



Obr. 42. Přelepení FSR senzorů gumou



Obr. 43. Přišroubovaná patka k čelisti



Obr. 44. Napájená kabeláž k senzorům



Obr. 45. Zakrytovaná kabeláž na čelisti a umístění čelisti na rameno

Patky v čelistech lze nastavit na dva možné stavy:

- Sensory budou umístěny přesně naproti sobě
- Jedna patka se senzory bude posunuta o délku odpovídající poloměru dotykové plochy senzoru

9. SBĚR DAT

Jedná se o hardware, který je schopen získávat informace z výstupních zařízení a následně poslat dat na vyšší řídicí úroveň. V tomto případě jde o sběr dat ze senzorů.

Pro daný úkol byl zvolen multifunkční USB modul UDAQ 1416AS.

9.1 MULTIFUNKČNÍ USB MODUL UDAQ 1416AS

Měřicí karta realizovaná řídicím mikropočítačem, výkonným hradlovým polem typu FPGA a dvoukanálovým USB řadičem.

Kontrolní funkci modulu zajišťuje mikropočítač. Hradlové pole FPGA se naopak stará o zpracování dat z A/D převodníku, generování dat D/A převodníkem a všechny přenosy dat mezi datovými zásobníky a USB řadičem.

Modul umožňuje až 200 000 měření za sekundu a to díky 14 bitovému A/D převodníku s předřazeným programovatelným zesilovačem a multiplexerem.

Napájení modulu je řešeno přes rozhraní USB. [23]



Obr. 46. Multifunkční USB modul UDAQ 1416AS[23]

Technické parametry modulu UDAQ 1416AS

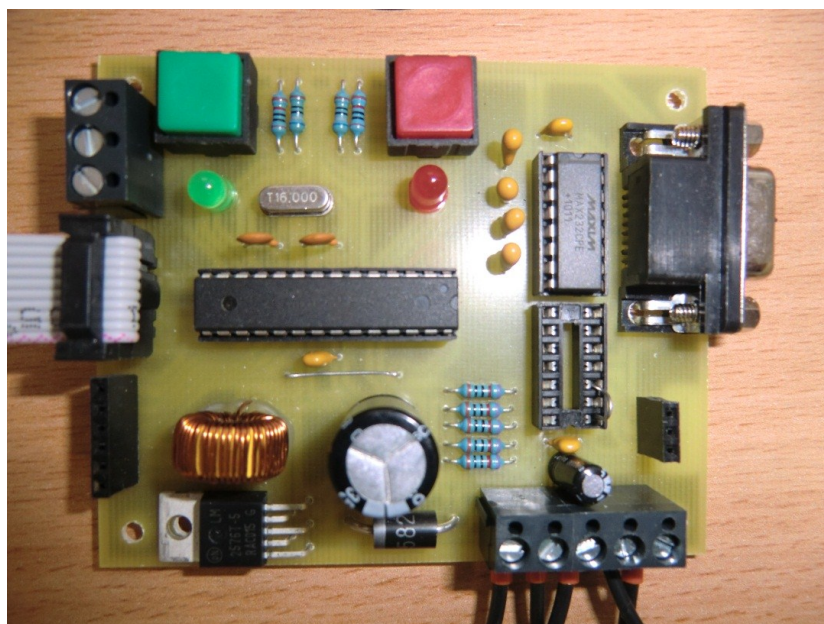
Analogové vstupy	16x S.E.
Rozlišení A/D převodníku	14 bitů
Vstupní rozsahy	$\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2V$, $\pm 1V$, $\pm 0,5V$, $\pm 0,2V$
Odolnost proti přepětí	$\pm 32V$
Vzorkovací frekvence	200kHz max.

Datový zásobník	256kB
Analogové výstupy	2x S.E.
Rozlišení D/A převodníků	2x 12 bitů
Výstupní rozsahy	±10V
Vzorkovací frekvence	200kHz max. (datový tok) 1MHz max. (režim z bufferu modulu)
Datový zásobník	256kB
Počet a typ čítačů	2x 32 bitů
Vstupní frekvence čítačů	2MHz max.
Pracovní úrovně čítačů	jako vstupy čítačů jsou využity digitální vstupy
Počet digitálních vstupů	4 (společné s čítači)
Pracovní úrovně digitálních vstupů	TTL/HC (odolnost ±32V)
Počet digitálních výstupů	1
Pracovní úrovně digitálních výstupů	přepínací relé 125V/0,5A
Sběrnice	USB rev. 1.1 USB rev. 2.0 (full speed mode)
Rozměry modulu	cca 225x165x40 mm

Tabulka 4. Technické parametry modulu UDAQ 1416AS [23]

10. ŘÍDICÍ DESKA PRO POHON EFEKTORU

Deska, již dříve vytvořena Ing. Jánem Babjakem, se využívá na různé projekty zadané katedrou Robototechniky.



Obr. 47. Řídicí deska pro motor efektoru

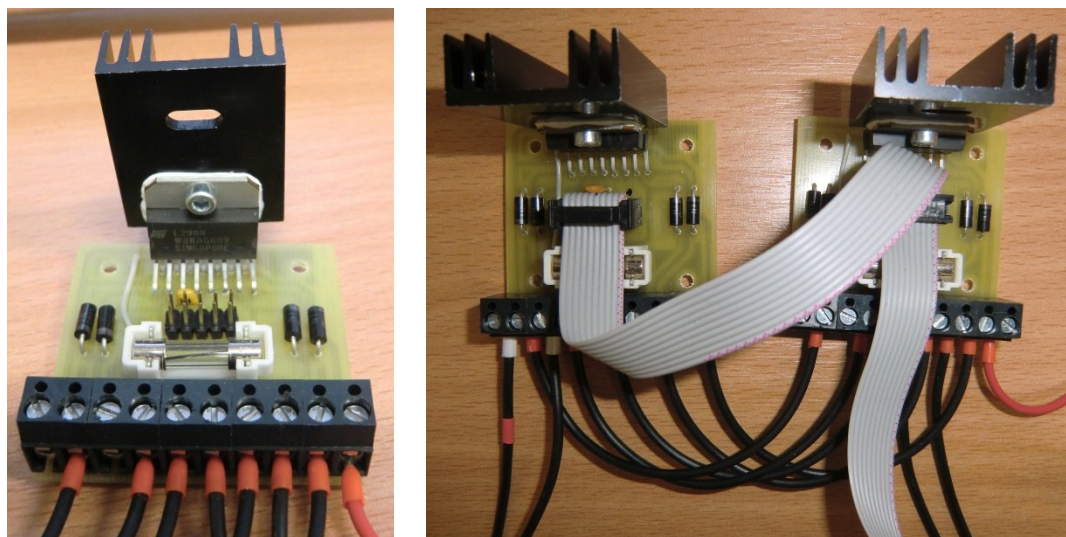
Hlavním úkolem řídicí desky v této aplikaci je vytváření PWM signálu pro motor efektoru. Komunikace nadřazené řídicí úrovně s řídicí deskou zprostředkovává sériová linka RS232. Prvek, který vytváří PWM signál je mikrokontrolér, ve kterém je nahrán program pro obsluhu motoru. Tento mikrokontrolér je srdcem řídicí desky. [1], [2]

10.1 H MŮSTEK

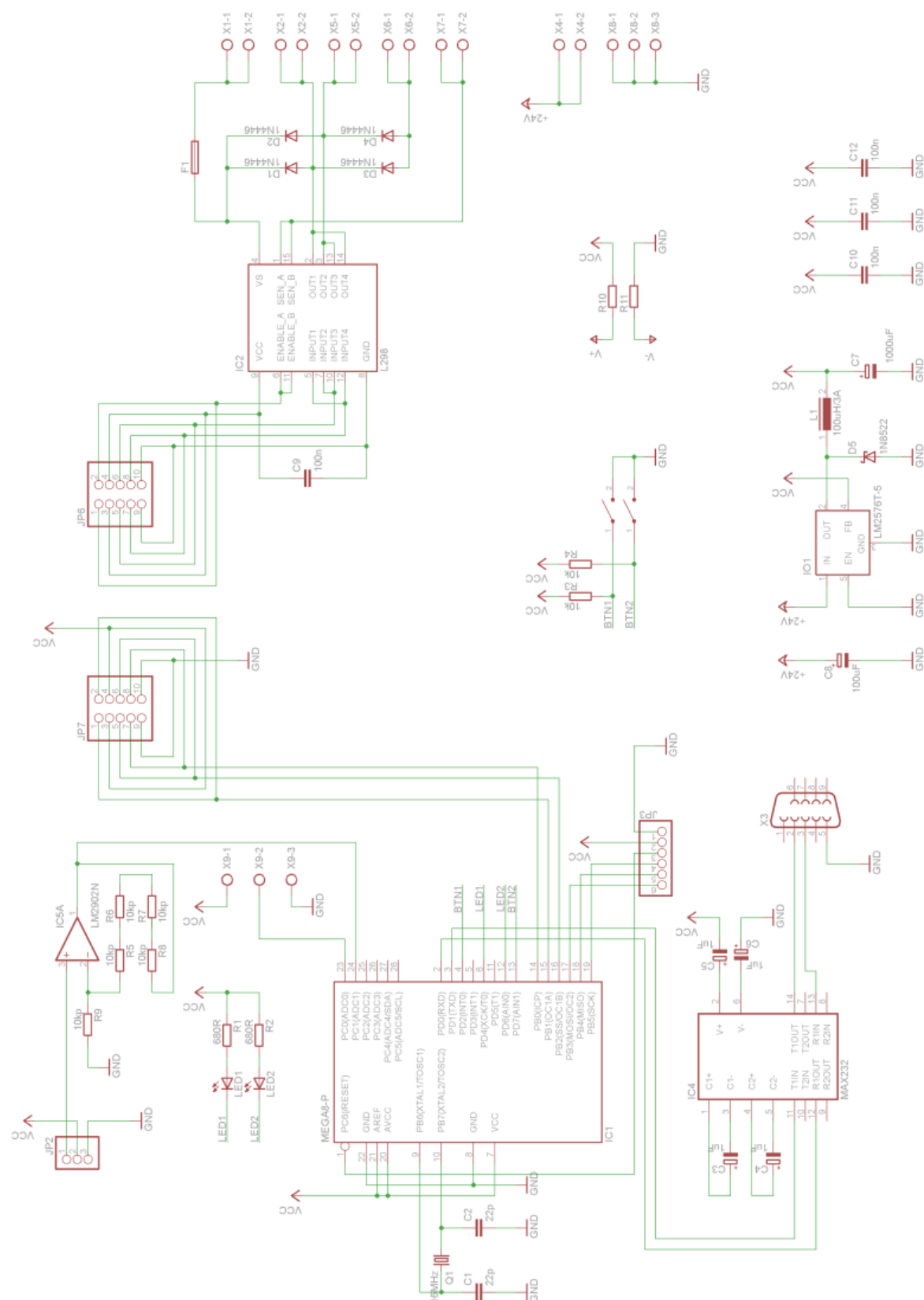
Opět jsou použity již dříve vytvořené desky, obsahující H můstky v podobě integrovaného obvodu L298, které jsou propojeny s řídicí deskou.

Integrovaný obvod L298 je dvojitý h-můstek, který slouží k řízení stejnosměrného motoru a umožňuje jeho řízení v obou směrech. Jedná se o výkonovou součástku, která je ovládána výstupy z mikrokontroléru. Pro řízení jednoho motoru je potřeba dvou vodičů. Jedním se posílá PWM signál pro rychlost a druhým pro směr otáčení. Druhý signál má pouze logickou úroveň log1 nebo log0.

K řídicí desce jsou připojeny dvě desky s můstkem, které jsou vůči sobě propojeny paralelně. Takové řešení zapojení dokáže budit větší proud do motoru a dokáže tedy obsluhovat silnější motory, než je použito v této práci. Toto řešení dodává na univerzálnosti řídicí desky pro motory. [1], [2], [24]



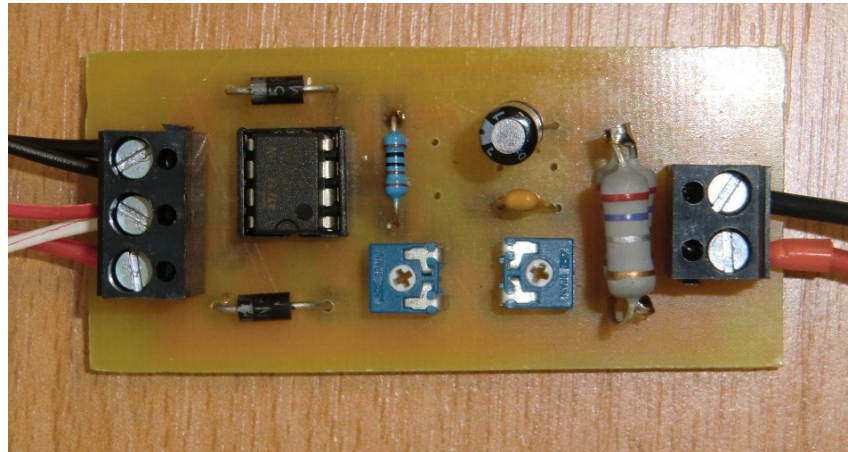
Obr. 48. H můstek, Paralelní zapojení H můstků



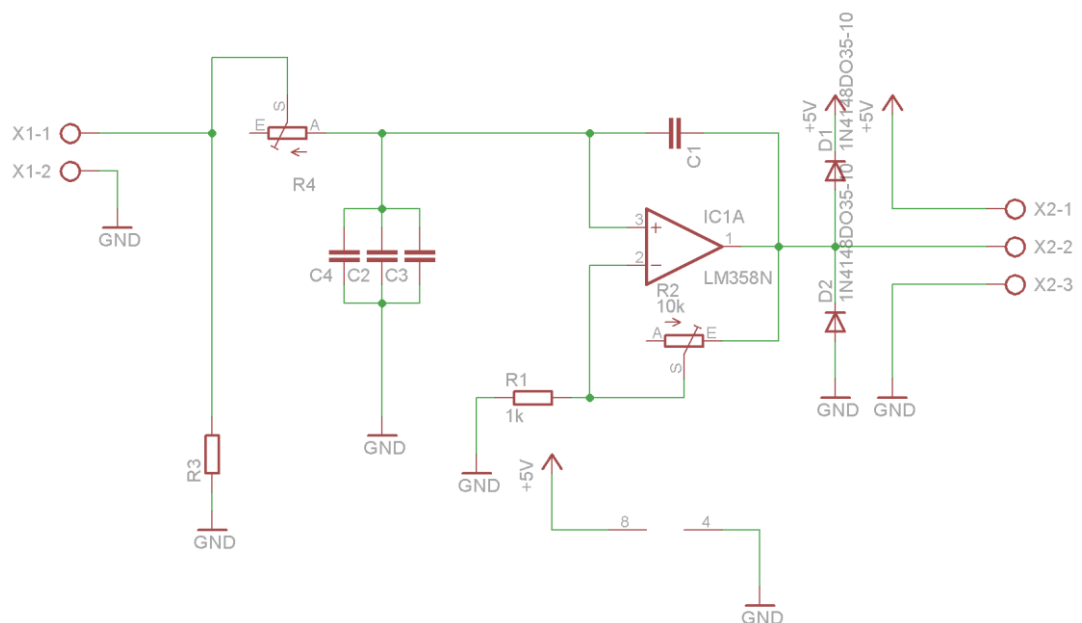
Obr. 49. Schéma zapojení řídicí desky

10.2 MĚŘENÍ PROUDU

Pro měření proudu protékající motorem, byla řídicí deska doplněna o desku k měření proudu. Ve skutečnosti se neměří proud, ale úbytek napětí na odporu. Napětí se přepočte pomocí Ohmova zákona na proud. Vytvořená deska se skládá z integrovaného obvodu LM358N pracující jako operační zesilovač a RC članku, který slouží pro vyhlazení výstupního napětí. Toto napětí je připojeno k měřicímu modulu UDAQ 1416AS. [1], [2]

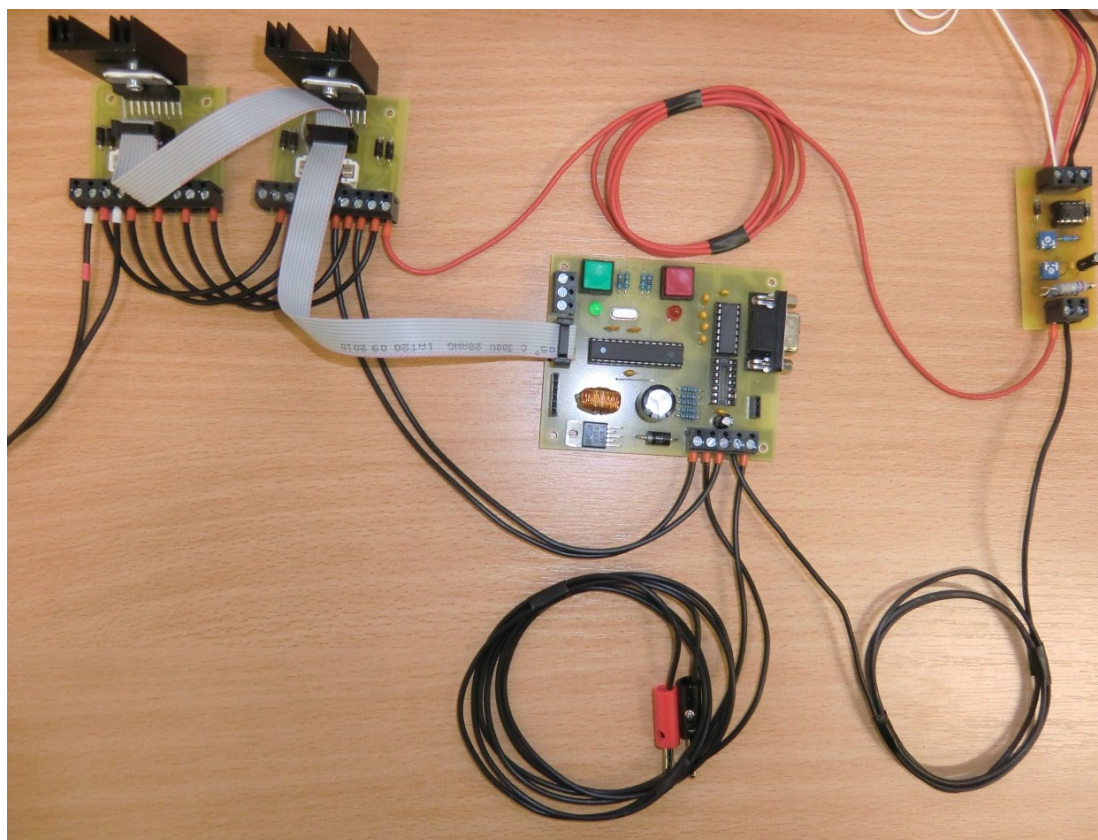


Obr. 50. Deska pro měření proudu



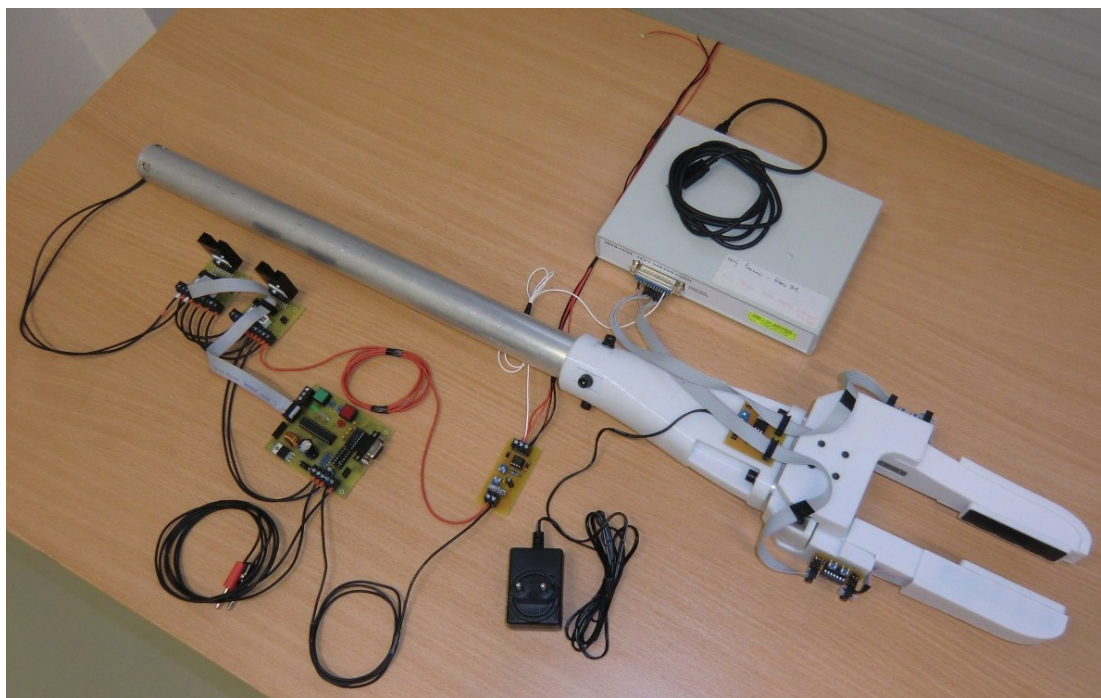
Obr. 51. Schématické zapojení desky pro měření proudu

10.3 PROPOJENÍ VEŠKERÝCH OBVODŮ PRO CHOD MOTORU



Obr. 52. Propojení řídicí desky s můstky a deskou pro měření proudu

11. CELKOVÉ ZAPOJENÍ VEŠKERÉHO ZAŘÍZENÍ



Obr. 53. Propojení veškerého zařízení

12. APLIKACE V PROGRAMU MATLAB

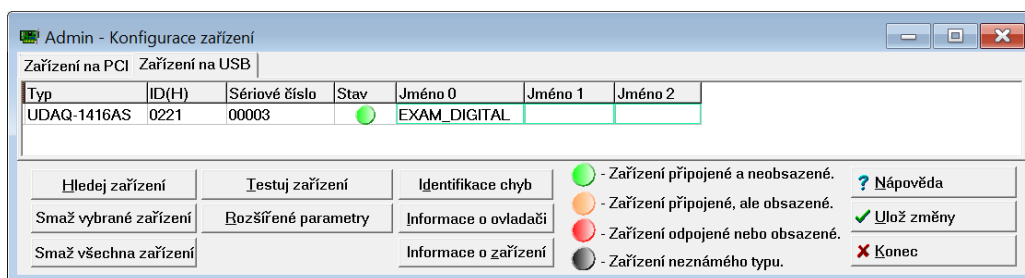
Před vytvářením aplikace musela být brána v úvahu použitá pohonná jednotka, která je pro daný efektor nadměrně výkonná. Jelikož je konstrukce efektoru vytvořena z polykarbonátu, bude výkonost pohonné jednotky výrazně potlačena. Hlavním důvodem tohoto kroku, je nepoškození jak sevřeného objektu, tak samotné konstrukce efektoru. Napájení motoru bylo sníženo z 24 V na 12 V. Rychlost pohybu čelistí byla rovněž omezena. Toto omezení se uskutečnilo již programově.

Při tvorbě celkové aplikace, nejprve vznikaly malé programy, na kterých se postupně ověřovala funkčnost. Současně se na těchto úsecích kódu prováděly pokusy. Teprve slučováním těchto malých programů a jejich odladění, vznikala celková aplikace pro hmatový subsystém robotu. [4]

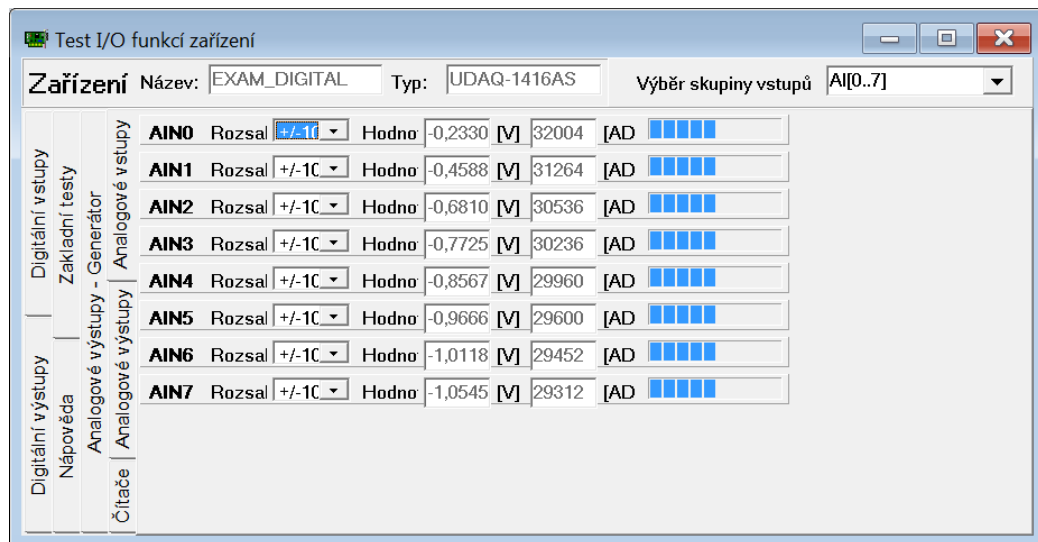
12.1 PROPOJENÍ MĚŘICÍHO MODULU UDAQ S MATLABEM

Nezbytným prvkem pro správnou funkčnost hardware je nainstalování doporučeného software od výrobce. Jedná se o upgrade firmware USB modulu a nainstalování Univerzálního multidriveru pro Windows. Veškeré ovladače a balíčky jsou umístěny na stránkách výrobce USB modulu. Nacházejí se zde pomocné manuály pro instalaci jednotlivých ovladačů a samotný manuál měřicího USB modulu UDAQ 1416AS.

Součástí multidriveru je software, přímo od výrobce, kterým můžeme testovat samotné zařízení.



Obr. 54. Software od výrobce k testování zařízení [23]



Obr. 55. Testovací prostředí zařízení, konkrétně testování analogových vstupů [23]

Z manuálu se dočteme, jaké funkce použít a jak je nastavit pro správnou funkčnost zařízení.

Díky spolupráci Ing. Tomáše Kota, který má více zkušeností s nastavováním měřicích hardware, byl vytvořen úsek kódu pro testování multifunkční karty UDAQ 1416AS. Rovněž byly vytvořeny potřebné funkce v knihovně v .h souboru. [23]

Kód pro testování multifunkční karty UDAQ 1416AS

```
%% Úvodní inicializace:
% načtení dll knihovny (pokud již je načtena, tak ji nejdříve uvolníme,
% jinak loadlibrary zahlásí chybu):
if (libisloaded('tedia_daq01'))
    unloadlibrary('tedia_daq01')
end
loadlibrary('tedia_daq01.dll', 'udaqheader.h')
% vypsání všech funkcí v knihovně, které jsou uvedeny v .h souboru:
%libfunctions 'tedia_daq01' -full
% inicializace udaq driveru:
pHandle = libpointer('int32Ptr', 20);
if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Init_Driver', pHandle, 'EXAM_DIGITAL') == 0)
    disp('Td_Init_Driver probehl v poradku.');
```

% do iHandle si uložíme cíl pointeru (hodnotu, na kterou ukazuje).

% iHandle budeme potřebovat ve všech následujících voláních funkcí knihovny.

iHandle = pHandle.Value;

%% Test AI:

% počáteční nastavení:

for i=0:7

if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Config_Acquisition', iHandle, i, 0, i, 8) ~= 0)

disp('Td_Config_Acquisition selhal!');

end

end

% spuštění měření:

if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Start_Acquisition', iHandle, 1) ~= 0)

disp('Td_Start_Acquisition selhal!');

end

% příprava pole o 8 prvcích pro následné uložení 8 naměřených hodnot

buffer = zeros(1,8);

pbuffer = libpointer('uint32Ptr', buffer);

% načtení a zobrazení deseti sérií měření 8 analogových vstupů:

for p=0:10

if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Get_SingleAcquisition', iHandle, pbuffer, 8) ~= 0)

disp('Td_Get_SingleAcquisition selhal!');

end

pbuffer.Value % zobrazení obsahu pole

pause(0.5); % prodleva

end

% zastavení měření:

if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Stop_Acquisition', iHandle) ~= 0)

disp('Td_Stop_Acquisition selhal!');

end

%% Závěrečné zavření driveru:

if (calllib('tedia_daq01', 'Td_Close_Driver', iHandle) == 0)

disp('Td_Close_Driver probehl v poradku.');

end

Tento kód pro testování multifunkčního měřicího modulu UDAQ 1416AS, konkrétně pro nastavení komunikace a otestování analogových vstupů modulu, byl následně upraven a připraven pro další kroky práce.

Jedna z úprav zajišťovala změnu defaultního nastavení vstupního analogového rozsahu z ± 10 V na rozsah $0 \div 5$ V. Důvodem toho je, že výstupní napětí z FSR senzorů dosahuje maximálně 5V. Tato úprava se řeší programově. Nejprve je provedena záměna rozsahů z ± 10 V na ± 5 V a to nastavení patřičných parametrů při konfiguraci multifunkčního měřicího modulu UDAQ 1416AS.

```
calllib('tedia_daq01', 'Td_Config_Acquisition', iHandle, i, 1, i, 9)
```

Změnu rozsahu vstupního analogového napětí zajišťuje třetí prvek zprava, kde jednička odpovídá rozsahu ± 5 V. (*katalog UDAQ 1416*) Nezatížený použitý FSR senzor nepracuje se zápornými hodnotami. Tudíž automaticky dostáváme rozsah $0 \div 5$ V. [23]

12.2 ÚPRAVA NAPĚŤOVÝCH HODNOT ZE SENZORŮ NA SILOVOU

Z důvodu neponičení čelistí, byl výrazně snížen výkon pohonné jednotky efektoru, jak již bylo dříve zmíněno. Proto byly senzory v patkách čelistí doplněny o plíšky. *Obrázek 56.* Jedná se o tenké pozinkované plíšky o ploše 1 cm^2 , které zaručovaly danou sílu protékajícímu napětí na senzoru. S takovouto úpravou je maximální měřené zatížení senzoru 1 kg, které odpovídá výstupnímu napětí ze senzoru necelým 5 V. *Obrázek 12.*



Obr. 56. FSR senzory doplněny o plíšky s plochou 1 cm^2

Při tvorbě desek se zesilovači *obrázek 34*, byly použity trimry s maximální hodnotou odporu 10 k Ω . Touto volbou odporu se výstupní napětí z FSR senzorů, při zátěži přibližuje k napěťovému průběhu fialové barvy. *Obrázek 12.* Digitální hodnoty, odpovídající výstupním napětím z FSR senzorů, jsou posílány z měřicího USB modulu 1416AS na vyšší úroveň a to do PC. Tyto hodnoty jsou následně programově upraveny na rozsah $0 \div 1$, z důvodu lepší orientace.

Pro získání silového zatížení na senzoru odpovídající digitální hodnotě *Tabulka 6.*, bylo nutné upravit napěťový průběh FSR senzoru. *Obrázek 12.*

Napěťová hodnota na senzoru [V]	Zatížení [g]
0,9	20
1,3	50
1,8	100
2,3	200
2,7	315
3	450
3,3	580
3,5	710
3,7	900
3,8	1000

Tabulka 5. Hodnoty odpovídající napěťovému průběhu FSR senzoru s 10k Ω odporem

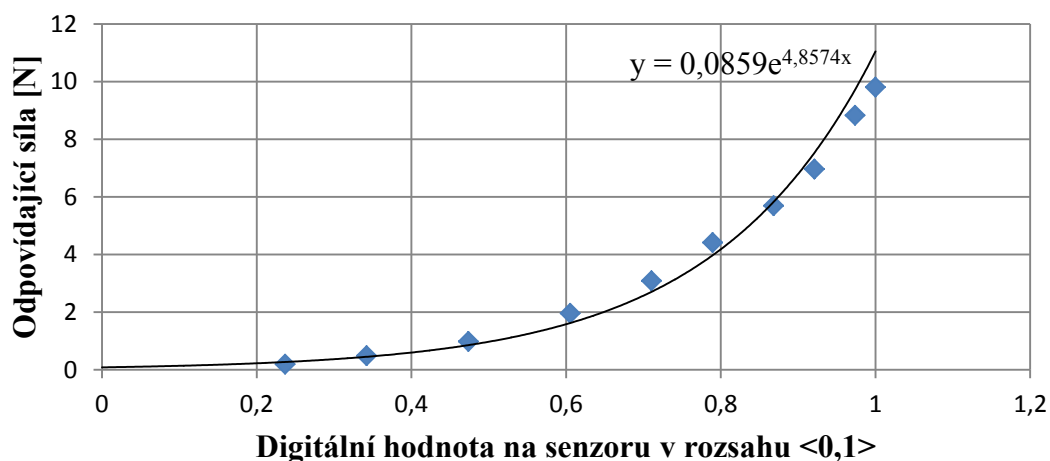
Tyto hodnoty tabulky byly upraveny.

Digitální hodnota na senzoru <0,1>	Odpovídající síla [N]
0,237	0,20
0,342	0,49
0,474	0,98
0,605	1,96
0,711	3,09
0,789	4,41
0,868	5,69
0,921	6,97
0,974	8,83
1	9,81

Tabulka 6. Hodnoty odpovídající digitálnímu průběhu FSR senzoru s 10k Ω odporem

Z tabulky hodnot byl vytvořen graf, kde vstupní hodnoty byly digitální hodnoty na senzoru a jim příslušovaly hodnoty síly.

Průběh síly na FSR senzoru



Obr. 57. Graf průběhu síly na FSR senzoru

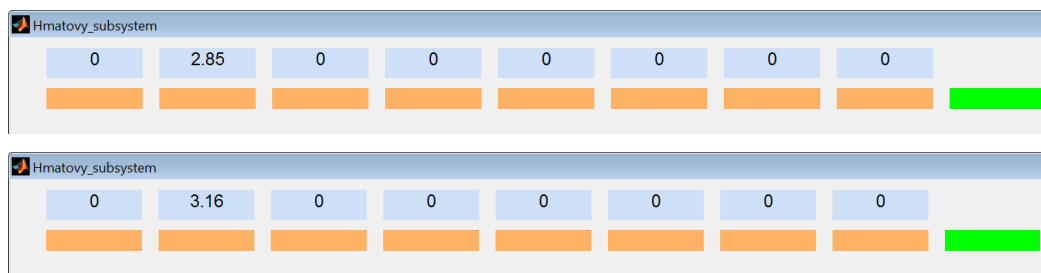
Vyneseným hodnotám byl proložen exponenciální trend, díky kterému byla zjištěna rovnice křivky daného průběhu síly. Pomocí této rovnice bude přiřazována síla jednotlivým digitálním hodnotám odpovídajícím výstupnímu napětí na senzorech.

Pro ověření, byl proveden pokus se závažím. *Obrázek 58*. Na senzor se umístilo závaží o hmotnosti 270 g, což odpovídá působící síle 2,65 N. Po určité době, kdy rychlost změny zobrazované hodnoty síly nebyla tak velká, bylo bráno, že hodnota je ustálená. Jakmile měřená hodnota byla v blízkosti odpovídající působící síle závaží, ukončilo se měření na senzoru. Při velkém rozdílu hodnot se upravila hodnota odporu na trimru právě měřeného senzoru k docílení správného zatížení. Měření bylo provedeno na každém senzoru. Jelikož se jedná pouze o orientační ověřování, počítá se s nepřesností. Použitá guma, jako třecí povrch, tento pokus částečně ovlivňuje.

Po kalibraci lze tvrdit, že průběh síly s určitou přesností odpovídá.



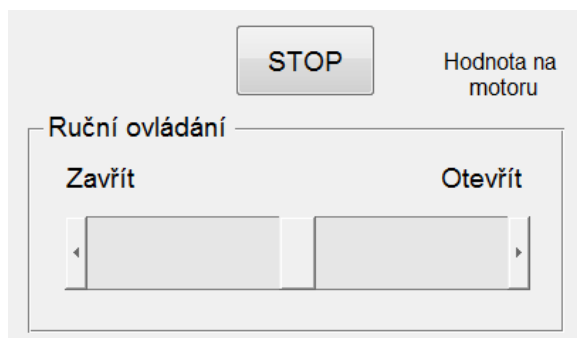
Obr. 58. Závaží o hmotnosti 270 g



Obr. 59. Ustálená síla na senzoru při pokusech ověřování správnosti průběhu síly

12.3 DEFORMACE ČELISTÍ PŘI POHYBU

Dalším úsekem programu byla zjednodušená část pro řízení motoru ke svírání objektů. K této části stačilo využít komponentu Slider (posuvník), kterým se uskutečnilo řízení motoru na základní úrovni. Řídicí deska pro řízení motoru očekává instrukci o 5 znacích. První znak je `:`, druhý až čtvrtý znak odpovídá síle motoru v hexadecimálním tvaru. Maximální hodnota síly je `FFF`. Poslední, tedy pátý znak je buď `1` nebo `0`. Tato volba udává směr otáčení motoru. Číslo `1` na pozici pátého znaku zajišťuje otevírání čelistí. Instrukce pro motor k otevření čelistí o maximálním výkonu vypadá takto. **:FFF1**



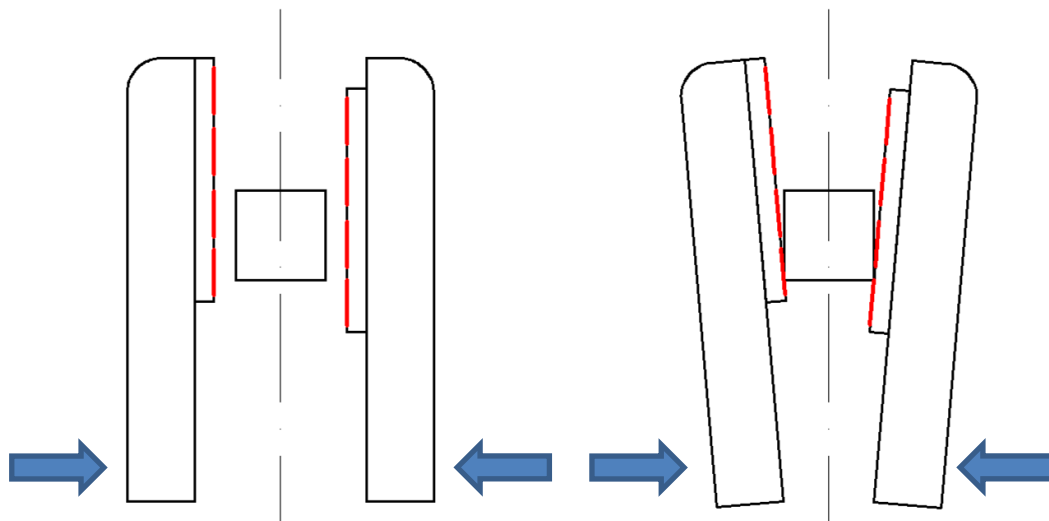
Obr. 60. Ovládání motoru pomocí posuvníku

Posuvníkem lze pohybovat na obě strany. Zavírat i otevírat čelisti. Čím je posuvník dále od nulové polohy (středová poloha), tím je výkon motoru větší a rychlost pohybu stoupá.

Při sevření předmětu vznikla situace, kdy se čelisti začaly prohýbat. U vzniklého průhybu docházelo k ovlivnění zaznamenávané síly na senzorech. Senzory, které by měly podle teorie zaznamenávat sílu, sílu nezaznamenávaly z důvodů prohýbání se čelistí při stisku. Prvním krokem pro eliminaci prohnutí čelistí a zároveň jejich ochrany před poškozením, bylo upravení rozsahu posuvníku. Po úpravě posuvník může dosáhnout pouze takových hodnot, aby výkon motoru nepoškodil čelist.

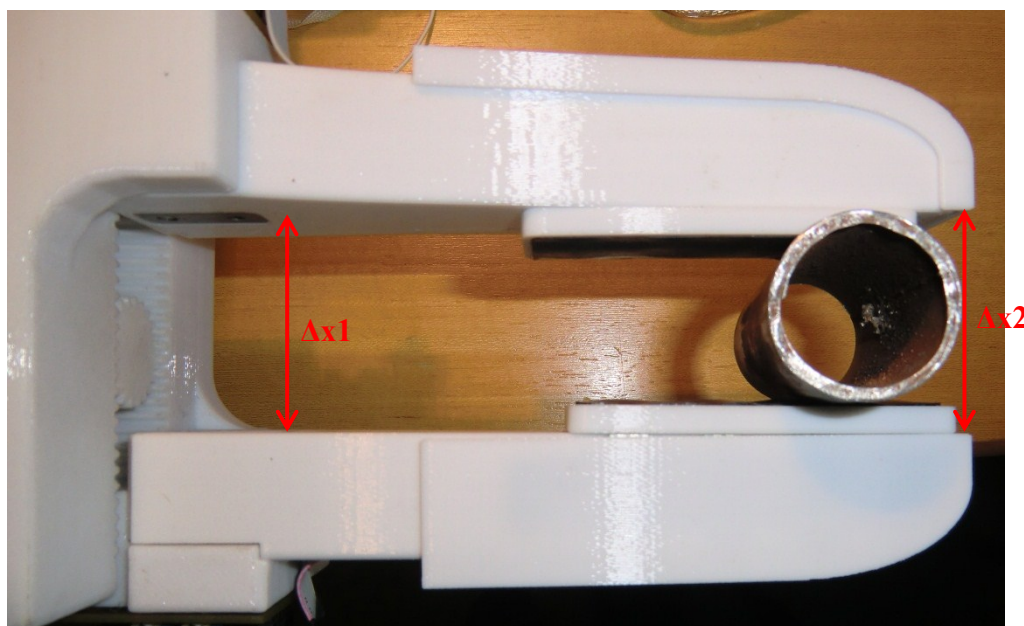
Prohnutím čelistí u takto vytvořené konstrukce efektoru se nedá eliminovat. Průhyb čelistí byl pouze zmenšen, nikoli odstraněn.

Znázorněný průhyb čelistí při stisku



Obr. 61. Znázorněný průhyb čelistí

Průhyb čelistí u konkrétního předmětu



Obr. 62. Průhyb čelistí při sevření válce

Z obrázku 62 není vidět velký rozdíl mezi měřenými úseky. Vzdálenost čelistí od sebe v místě Δx_2 je 46 mm, v úseku Δx_1 se jedná o 43 mm. Rozdíl 3 mm se nezdá velký, ale i pouhé 3 mm ovlivňují celé měření.

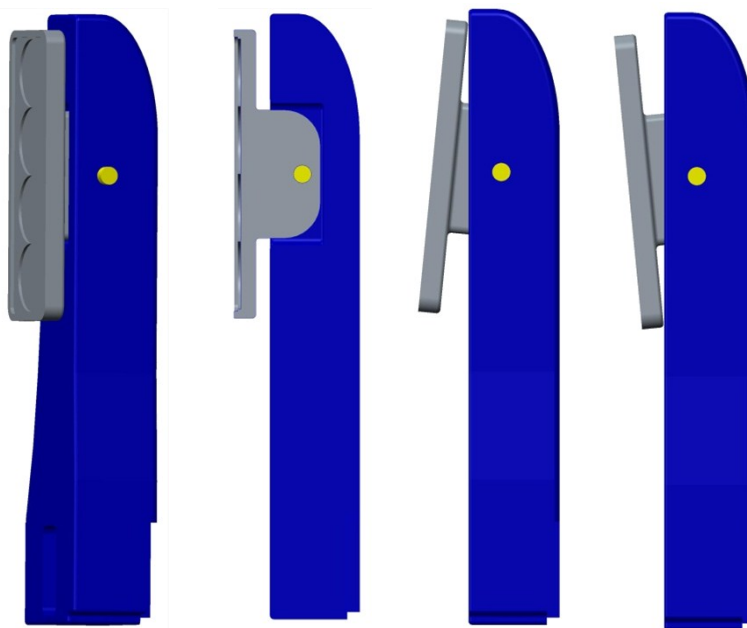
Důvodem vzniklého problému je ten, že používaný efektor s takto navrženou konstrukcí nemá velkou tuhost. Samotná konstrukce je zbytečně velká, navíc na některých místech efektoru jsou malé praskliny. Čelisti nemají žádnou možnost přizpůsobení se uchopovanému předmětu a tím eliminovat vzniklý problém s průhybem. Ve spojení s výkonným motorem, který je použit, neúměrně ke konstrukci, se průhyb čelistí navyšuje.

Možné řešení

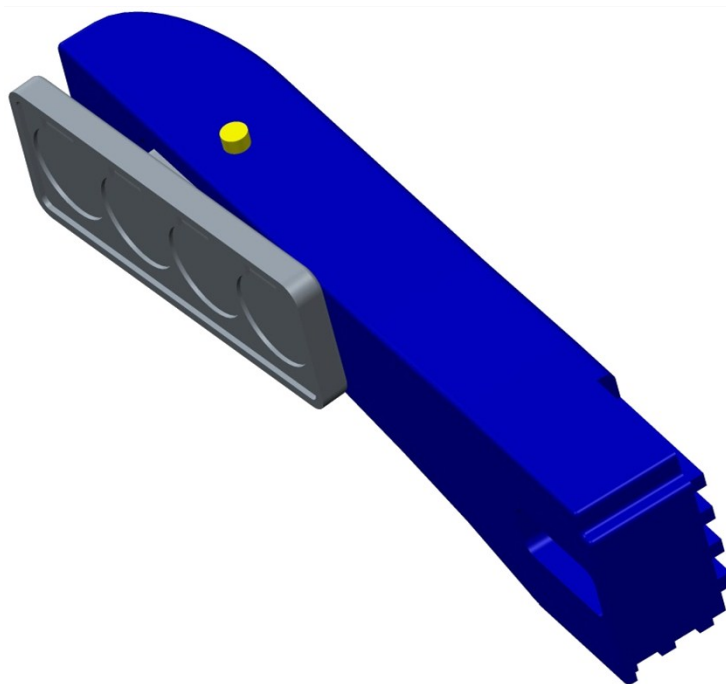
Jedna z možností, jak problém s průhybem čelistí vyřešit je nasazením vhodnějšího pohonu vzhledem ke zvolené konstrukci efektoru. Lepší, ale o to radikálnější změnou k příznivějším vlastnostem efektoru by byla realizace nové konstrukce efektoru, postavena na získaných poznatcích současné konstrukce.

Při ponechání stávajícího stavu efektoru a docílení zaznamenávání správných senzorů síly, podle tvaru svíraného objektu dle teorie, je možné upravit pouze čelisti efektoru. Dosavadní verze čelistí, změněné z původního stavu, obsahují patky pro senzory, které jsou pevně připevněny k čelistem. Nově navržené čelisti by neměly patky pevně připevněny, ale byla by zvolena možnost umístění patek na čep. Na tomto čepu by se patka mohla pohybovat v určitém rozsahu a tedy se přizpůsobit svíranému objektu. Toto řešení neeliminuje průhyb, ale snaží se s touto vadou konstrukce co nejvíce spolupracovat. Jedná se pouze o jedno z možných řešení, které by vedlo ke zlepšení vlastností efektoru.

Model jednoho z návrhů čelisti pro přizpůsobení se tvaru svíraného objektu



Obr. 63. Model varianty čelisti s patkou pro přizpůsobení se (boční pohled + řez)



Obr. 64. Model varianty čelisti s patkou pro přizpůsobení se (obecný pohled)

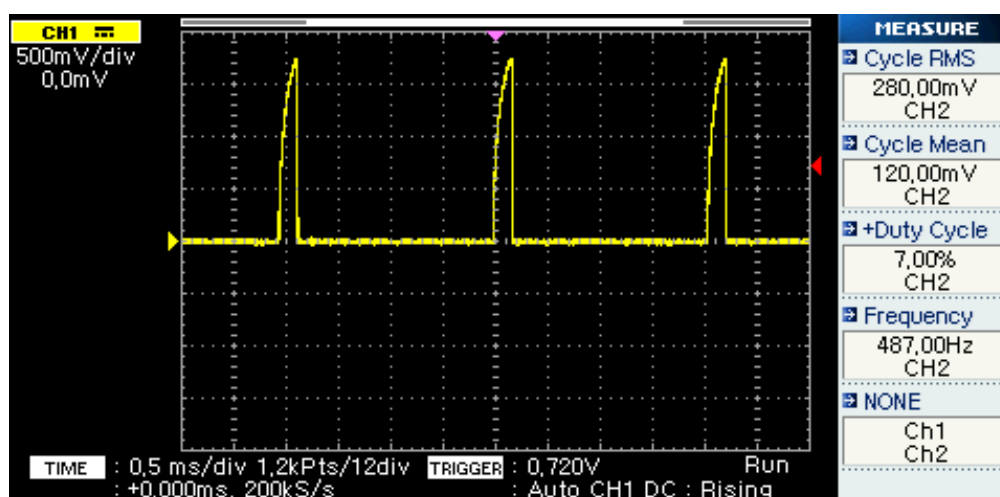
12.4 MĚŘENÍ PROUDU

Integrovaný obvod L298N využívaný jako H-můstek, pro buzení motoru obsahuje pin určený pro měření proudu. Pin s názvem Current Sensing má napětěvý výstup, který je nutno připojit k patřičnému odporu, z kterého bude vypočten protékající proud motorem. O to se stará deska pro měření proudu. *Obrázek 50*. Napětěvý výstup z této desky je připojen k měřicímu modulu, kterému se přiřadí digitální hodnota. Této digitální hodnotě musí být následně přidělena správná hodnota napětí, odpovídající hodnotě napětí na měřeném odporu.

Nejprve bylo provedeno přiřazení digitální hodnotě hodnota analogová a to za využití osciloskopu. Při pohybu čelistí byly vzorky digitálních hodnot průměrovány a následně zobrazovány. Těmto hodnotám odpovídalo napětí, které bylo zaznamenáno pomocí osciloskopu. Osciloskop byl využit z toho důvodu, že napětí z můstků bylo obdélníkové a posíláno po určité frekvenci. Tudíž se nejednalo o spojitý signál. Pomocí osciloskopu byla měřena hodnota napětí RMS. Jedná se o efektivní hodnotu napětí. Provedlo se několik měření a zjištěným vzorkům byla vypočtena průměrná hodnota. Zjištěná průměrná hodnota pak upravovala digitální vzorky na analogovou hodnotu napětí na měřeném odporu. Za pomoci Ohmova zákona bylo jednoduché určit proud protékajícím odporem, při známé hodnotě odporu.

Digitální hodnota napětí na odporu (rozsah 0 – 5 V)	Analogová hodnota napětí na odporu (Osciloskop, RMS) [mV]	Poměr (analogová / digitální hodnota)
7085	280	0,040
9861	360	0,037
8145	240	0,029
7033	200	0,028
15769	400	0,025
7893	200	0,025
11865	400	0,034
9017	360	0,040
15725	400	0,025
15319	400	0,026
Průměrná hodnota poměru:		0,031

Tabulka. 7. Tabulka naměřených hodnot pro zjištění poměru mezi analogovou a digitální hodnotou



Obr. 65. Ukázka měření hodnoty napětí za využití osciloskopu

Zamezení kolísání digitální hodnoty napětí

Při měření a zobrazování digitální hodnoty odpovídající napětí na odporu, bylo zjištěno, že digitální hodnota neustále kolísá. Tudiž byla provedena patřičná úprava, průměrování.

Nejprve jsou digitální vzorky ukládány do pole hodnot (jedná se o nenulové hodnoty). Z pole hodnot, jakmile bude celé zaplněné, se vypočte průměr a s tímto údajem se dále pracuje.

I přes toto průměrování se naskytla situace, že se objevila špička, která průměr proudu zásadně ovlivnila. To bylo zjištěno po několika pokusech a vypisování pole digitálních

hodnot. Z vypisování digitálních hodnot bylo vidět, že špička většinou byla až dvojnásobná oproti ostatním hodnotám.

Provedla se tedy následná kontrola každé buňky pole plněné digitálními hodnotami. Každá buňka se porovnávala s průměrem celého pole. V případě, že by nastal velký rozdíl (zvolena hodnota rozdílu 2500), byla by tato hodnota buňky nahrazena průměrem pole. Po kontrole všech buněk v poli je vytvořen nový průměr pole, již bez špiček, s tímto se dále pracuje pro přepočítání na hodnotu protékajícího proudu.

Touto úpravou bylo odstraněno kolísání digitální hodnoty a odstranění ovlivňování průměru vzniklými špičkami.

Přiřazení digitálnímu napětí analogovou hodnotu proudu

Na desce pro měření proudu jsou tři výkonné rezistory zapojené v sérii. Odpor jednoho rezistoru je 270 mΩ. Celkový odpor je trojnásobný, tedy 810 mΩ.

Proud protékající motorem lze určit ze vztahu:

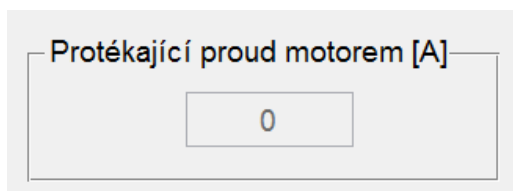
$$I = \frac{U_{dig} \cdot p}{R} [A] \quad (13)$$

R – Celková hodnota odporu (810 mΩ)

U_{dig} – Digitální hodnota z modulu UDAQ 1416AS v rozsahu 0-5V odpovídající napětí na rezistoru

p – Průměrná hodnota poměru, Tabulka. 7.

Úsek pro zobrazení proudu

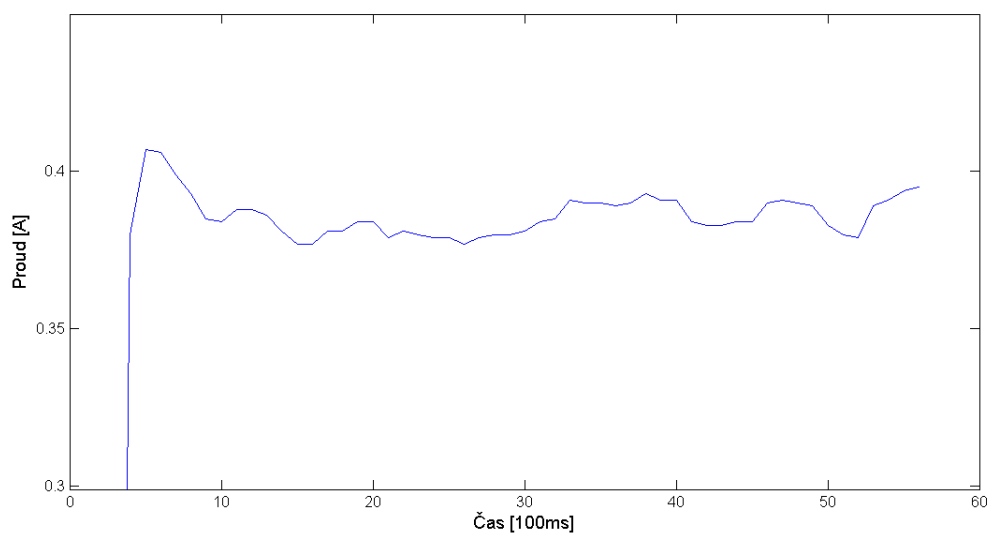


Obr. 66. Zobrazování protékajícího proudu motorem

Průběh proudu při zavírání čelistí

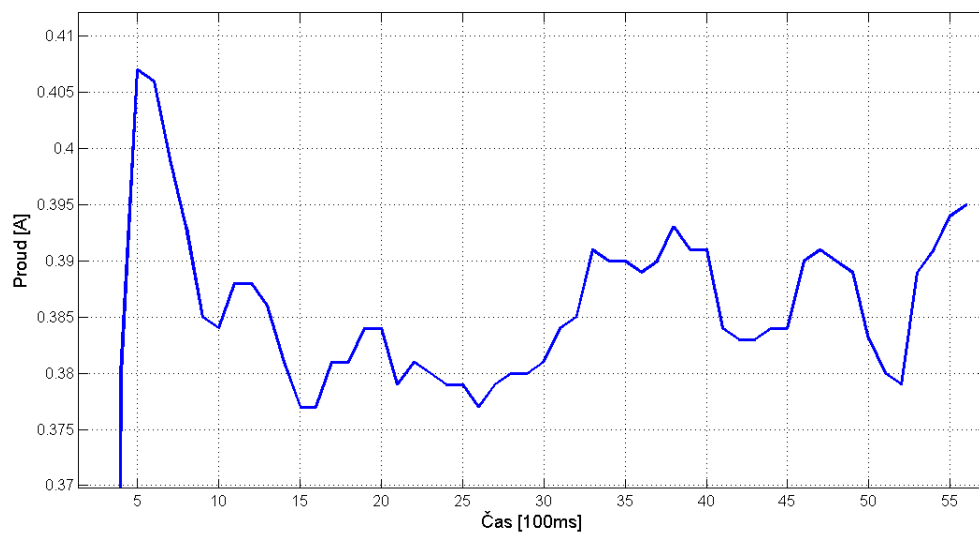
Při vytváření průběhu proudu při zavírání čelistí je snaha získat informace o tom při jaké hodnotě proudu je zaznamenán odpor způsobený sevřením objektu. V tomto případě se bude jednat o odpor způsobený sevřením válce.

Čelisti byly svírány po dobu měření stejnou rychlostí.



Obr. 67. Průběh proudu při svírání válce

Pro lepší odečtení hodnot z grafu budou jeho úseky zvětšeny.



Obr. 68. Průběh proudu (přiblížení) při svírání válce

Průběh proudu se skládá ze tří částí

- Rozběh motoru
- Pohyb čelistí bez odporu
- Reakce čelistí na překážku

Rozběh motoru

Jedná se o nárůst proudu (špičky) v grafu uskutečněný na začátku. Jedná se o čas od 0 do 5. Pak už hodnota proudu začne rapidně klesat.

Pohyb čelistí bez reakce na překážku

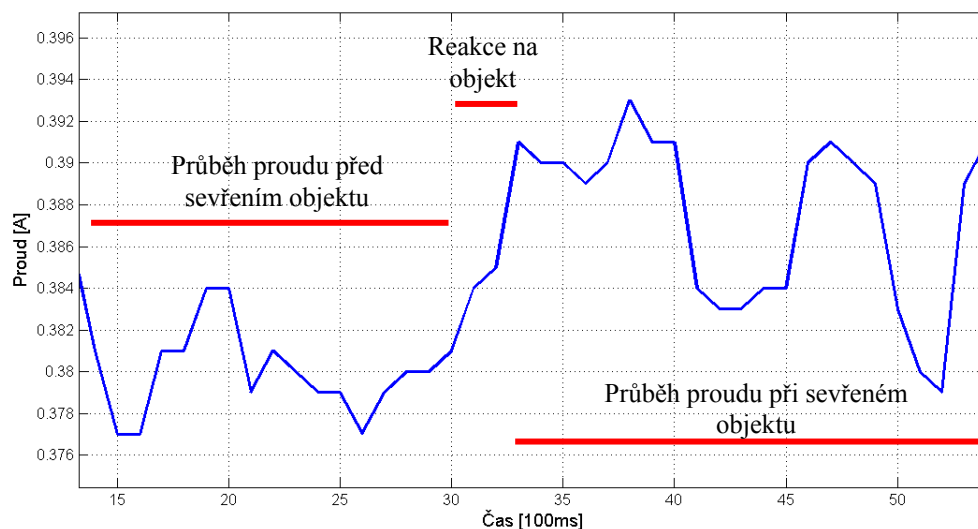
Jde o část grafu, kde se čelisti pohybují, ale proti pohybu není vyvolaná žádná protisíla (překážka). V grafu je tento úsek v čase od 15 do 30.

Reakce čelistí na překážku

Tento úsek je charakterizován nárůstem proudu v malém časovém okamžiku. V grafu se jedná o čas od 30 do 38. Za časem 40 je stav čelistí sevřen. Motor stále drží stejnou hodnotu a předmět drží. Hodnota proudu je stále měřena a pohybuje se.

Porovnání úseků - Pohybu čelistí bez odporu a Reakce čelistí na překážku

Aby bylo možné reagovat na protékající proud motorem, když je zjištěna překážka (nárůst proud), je potřeba porovnat úseky pohybu čelistí před překážkou a reakci na překážku.



Obr. 69. Porovnání průběhu proudu před a během sevření objektu

Hodnota proudu při pohybu čelistí před reakcí na překážku kolísá mezi hodnotami 0,377 a 0,384 A.

Od vzniku dotyku čelistí s objektem byla naměřena hodnota proudu 0,381 A, a to v čase 30. Maximální hodnota proudu odpovídala hodnotě 0,393 A.

Při porovnání obou úseků, můžeme říci, že lze zareagovat na proud o hranicích maximální hodnoty proudu úseku, kdy nebyla zaznamenána reakce na předmět a maximální hodnotou proudu, kdy už byl zjištěn kontakt s předmětem. Jedná se o hranice proudu od 0,384 do 0,393 A.

Takových měření bylo provedeno více a navzájem se od sebe lišily. Po několika měření byl rozsah proudu zvolen na hodnoty od 0,38 do 0,40 A. Hranice proudu, kdy je možné zareagovat na proud a nebýt v části grafu, kde čelisti nezaznamenaly kontakt s předmětem, se lišily dle velikosti svíraného předmětu.

U pokusů měření síly na senzorech při reakcích na hodnotu proudu nacházející se v rozsahu 0,38 až 0,40 A, byla pokaždé zjištěna maximální hodnota. Nelze tedy zastavit motor dle protékajícího proudu a zároveň zaznamenat malou sílu stisku.

Hlavním důvodem toho, že pokaždé senzory zaznamenávají maximální možnou sílu, je ten, že proudový rozsah, na který reagujeme, je velmi malý. Reagujeme na rozdíl 0,02 A, což je velmi malá hodnota, aby na tak malém rozsahu bylo odstupňováno 10 N, které lze na senzorech zaznamenat. Rozsah je tak malý z důvodu, že pohyb čelistí je pomalý a tedy výkon motoru je malý. Velikost rozsahu lze navýšit, tím že motor budeme využívat tak, jak je doporučeno výrobcem. V tomto případě, vzniká rozpor. Bude kvalitnější měření proudu, ale zničíme konstrukci čelistí, protože konstrukce takový výkon motoru nevydrží.

Byla vytvořena tabulka protékajícího proudu, na který lze reagovat. Jedná se o minimální hodnoty proudu, které je vhodné nastavovat pro jednotlivé vzdálenosti čelistí od sebe. Důvod je, aby proud motorem neprotékal dříve, než je objekt sevřen.

Vzdálenost čelistí od sebe [mm]	Velikost proudu [A]
40	0,38
30	0,39
20	0,394
10	0,397

Tabulka. 8. Orientační tabulka pro volbu meze protékajícího proudu motorem

Hodnoty proudu jsou brány jako minimální meze. Po několika měření se potvrdilo, že motor reagoval na zadaný proud ve chvíli, jakmile byl objekt sevřen. Při špatné volbě proudu byl pohyb čelistí ukončen v okamžiku, kdy ještě nesevřel objekt.

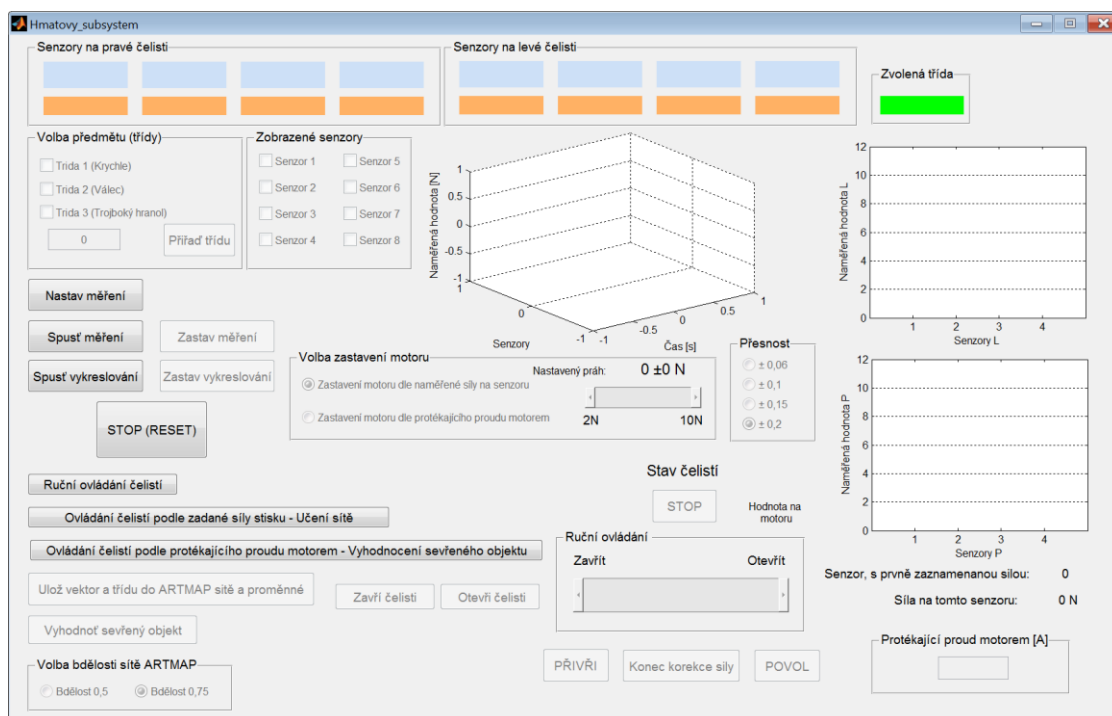
Práce pokračuje tak, že se počítá s chybou měření proudu a pokusí se tomuto stavu přizpůsobit.

13. KONEČNÁ PODOBA VYTVOŘENÉHO SOFTWARE

Při tvorbě software, byla snaha o celkové odladění programu a zaručení jeho funkčnosti. Od začátku vývoje programu byl nastaven cíl, aby byl software schopen co nejvíce informovat o vzniklých stavech.

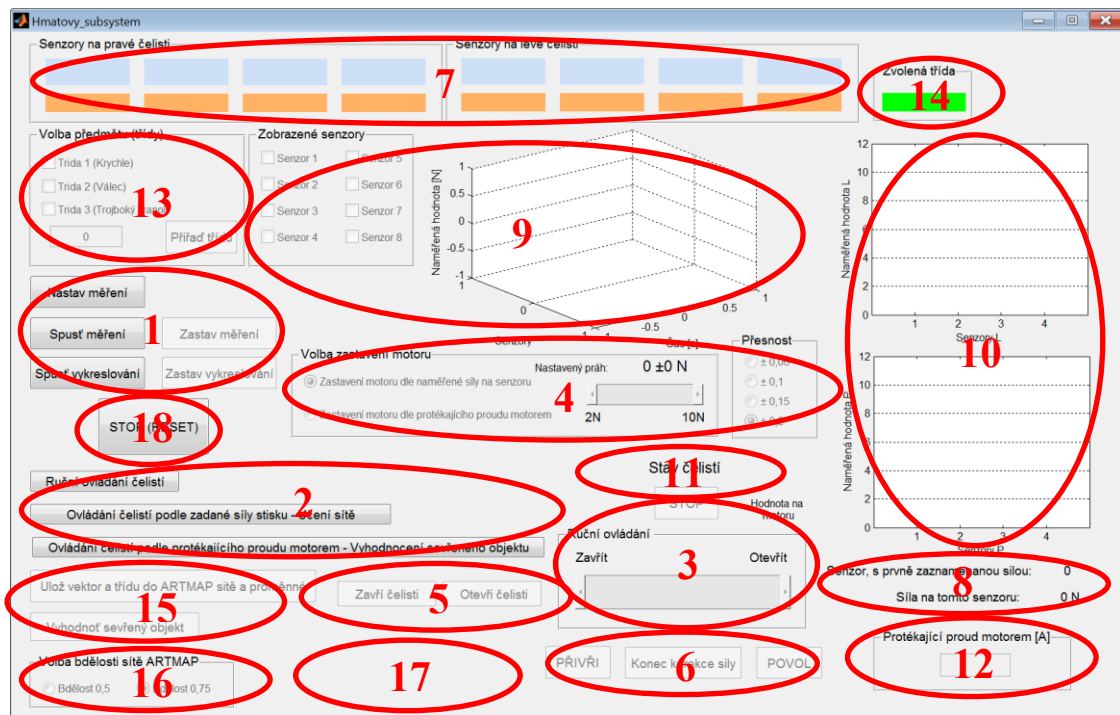
Software dokáže provádět tyto úkony

- Ruční ovládání čelistí
- Automatické ovládání čelistí na zadanou sílu naměřenou na senzoru
- Automatické ovládání čelistí na zadaný proud protékající motorem
- Monitorování aktuální síly na senzorech
- Zobrazování hodnot na senzorech prostřednictvím 2D a 3D grafu
- Učení neuronové sítě ARTMAP
- Vyhodnocování neuronové sítě ARTMAP (Vyhodnocení naměřených sil u sevřeného objektu)



Obr. 70. Vytvořený grafické rozvržení pro daný software

13.1 POPIS GRAFICKÉHO ROZLOŽENÍ VYTVOŘENÉHO SOFTWARE



Obr. 71. Jednotlivé úseky vytvořeného grafického rozvržení

Popis jednotlivých bodů aplikace:

- 1) Tato část je složena z pětice tlačítek, **Nastavení měření** zaručuje nastavení komunikace mezi PC a měřicím modulem UDAQ 1416AS. Po prvním stisknutí si program veškeré nastavení pamatuje. Tlačítko **Spust' měření** spouští aplikaci. Spustí se timer, ve kterém se odehrávají veškeré kroky týkající se aplikace. Jedná se o obsluhu řídicí desky pro motor, vzorkování z měřicího modulu UDAQ 1416AS a mnohé další. **Spust' vykreslování** spouští vykreslování, ve 2D i 3D grafu, hodnotami z FSR senzorů. Tlačítka **Zastav měření** a **Zastav vykreslování** se pozastavují dané úseky, jak vyplývá z jejich názvů.
- 2) Jedná se o blok tlačítek, které nám dávají na výběr, jakým způsobem je možné ovládat pohyb čelistí. Jde o **Ruční ovládání**, **Ovládání čelistí podle zadané síly stisku** a **Ovládání čelistí podle protékajícího proudu motorem**.
- 3) Úsek obsluhující ruční ovládání. Slider, kterým lze pohybovat na obě strany, a tím simulovat zavírání a otevírání čelistí. Tlačítko **STOP** je vybaveno pro nouzové vypnutí ručního ovládání.
- 4) Blok, který se aktivuje při jedné z voleb ovládání, **Ovládání čelistí podle zadané síly stisku** nebo **Ovládání čelistí podle protékajícího proudu motorem**. Slouží k nastavení meze síly nebo protékajícího proudu z určeného rozsahu. Lze ještě

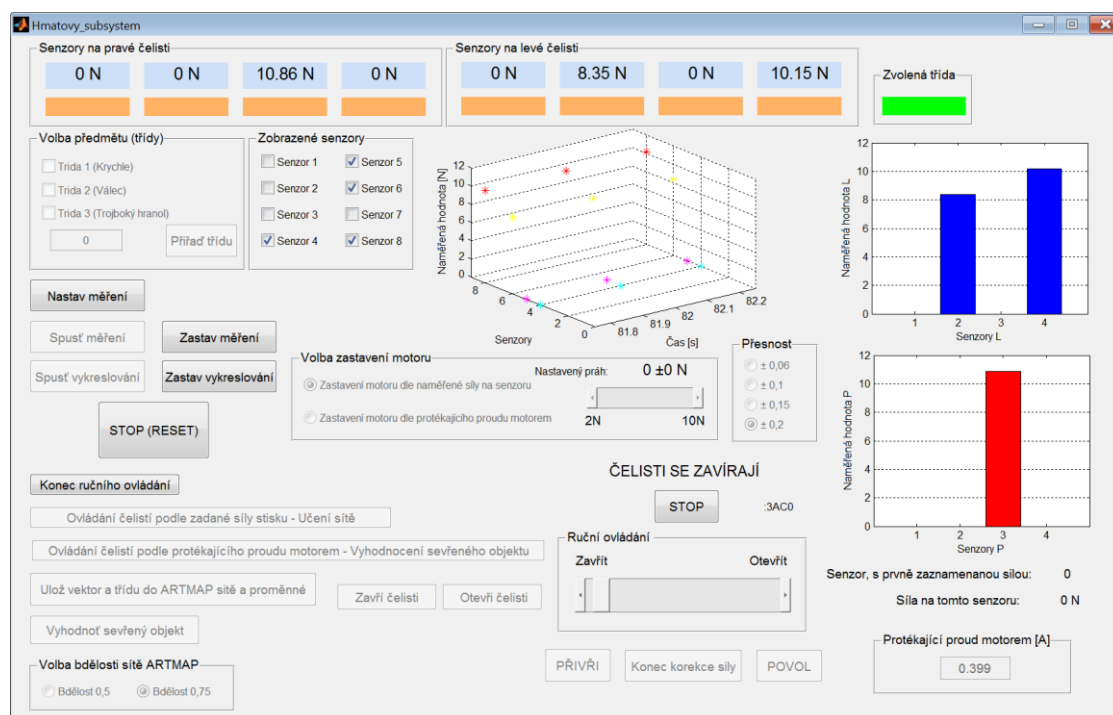
nastavit přesnost, s jakou má být tato mez brána. Tato přesnost se vztahuje pouze k silovým složkám.

- 5) Tlačítkem **Zavři čelisti** se čelisti začnou svírat určitou rychlostí, která je předdefinovaná. Tlačítko **Otevři čelisti** zaručuje otevírání čelistí taktéž předdefinovanou rychlostí. Otevírání se ukončí v okamžiku, kdy bude motorem protékat konkrétní proud.
- 6) V případě dlouhého čekání na očekávaný stav čelistí dle zadaných parametru (síly), lze průběh korekce urychlit. K tomu slouží tlačítka **Přivři** a **Povol**, kterými je možné jednorázově navýšit výkon motoru. Tlačítkem **Konec korekce síly** lze ukončit pohyb čelistí při korekci, pokud síla na senzorech odpovídá zadané mezi s danou přesností.
- 7) Zobrazovací úsek hodnot. V modrých polích se zobrazují aktuální hodnoty síly na senzorech. V oranžových polích se objeví hodnoty, které slouží pro práci s neuronovou sítí ARTMAP. Hodnoty se zobrazí, jakmile budou čelisti v takové poloze, aby odpovídaly zadaným parametrům síly nebo protékajícího proudu.
- 8) Zobrazované informace o tom, který senzor zaznamenal jako první. Podle tohoto senzoru se následně budou korigovat čelisti. U volby **Ovládání čelistí podle protékajícího proudu**, se navíc objevuje i hodnota síly na tomto zaznamenaném senzoru. Čelisti se následně korigují na tuto sílu zaznamenaného senzoru.
- 9) Úsek pro grafické zobrazování hodnot síly na senzorech v čase s využitím 3D grafu. Zobrazovat lze senzory, které budou vybrány při ručním ovládání. U zbylých druhů ovládání se aktivují pro zobrazení takové senzory, které zaznamenají nenulovou hodnotu síly.
- 10) Pro lepší orientaci síly na senzorech, je využito dvou 2D grafů sloupcového charakteru. Každá čelist obsluhuje jeden 2D graf.
- 11) Ukazatel stavu čelistí. Může nabývat tří stavů. ČELISTI STOJÍ, ČELISTI SE ZAVÍRAJÍ, ČELISTI SE OTEVÍRAJÍ a ČELISTI JSOU SEVŘENÉ.
- 12) Informativní údaj protékajícího proudu motorem.
- 13) Při získání hodnot ze senzorů, kdy byla ukončena korekce čelistí dle zadaných parametrů, je aktivován úsek pro volbu třídy, která odpovídá uchopenému objektu na základě jeho tvaru.
- 14) Zobrazená volba třídy, charakteristická pro hodnoty na senzorech podle tvaru uchopeného objektu.

- 15) Tlačítka pro práci s neuronovou sítí ARTMAP. Jedná se o ukládání hodnot do sítě (učení sítě) a vyhodnocení sevřeného objektu na základě naměřených sil na senzorech (vyhodnocování sítě).
- 16) Při vyhodnocování sítě na základě naměřených hodnot síly na senzorech, je možné zvolit bdělost sítě. Bdělost lze volit ze dvou možností, 0,5 a 0,75. Zvolením čísla bližšího k číslu 1 se předpokládá, že síť je naučena velkým počtem vzorů. Vyhodnocování je tak přesnější. Hodnota 0,5 je využívána ze začátku, kdy počet naučených vzorů není tak objemný. Doposud je tato hodnota používána pouze pro kontrolní vyhodnocování sítě.
- 17) Místo, kde je napsáno o jaký předmět se jedná, při sevření objektu, na základě vyhodnocení neuronové sítě ARTMAP.
- 18) Tlačítko **STOP (RESET)** zajišťuje zastavení veškerých činností a nastavení celé aplikace na defaultní stav.

13.2 RUČNÍ OVLÁDÁNÍ ČELISTÍ

Jedná se o ovládání pohybu čelistí pomocí komponenty Slider, kterou lze ovládat jak rychlost (síla), tak i směr pohybu čelistí. Tato volba ovládání není provázána s neuronovou sítí ARTMAP. Při volbě ručního ovládání čelistí se navíc aktivuje blok pro výběr senzorů, které mají být v 3D grafu vykreslovány.



Obr. 72. Ruční ovládání čelistí

Hodnoty síly, měřené senzory, jsou zobrazovány v horní části aplikace (modrá pole).
Obrázek 72.

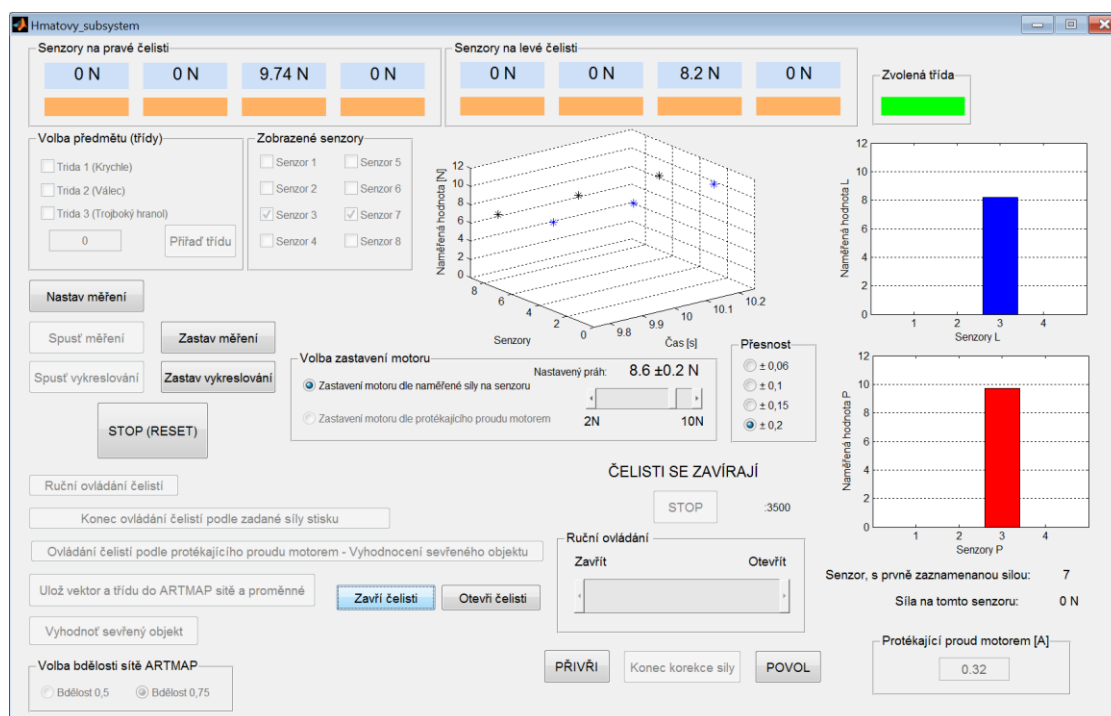
Hranice komponenty Slider jsou nastaveny na hodnotu 4000 a 4001 dle obrázku 73. Poslední znak určuje směr pohybu. Výkon motoru charakterizují první tři znaky v hexadecimálním tvaru. Maximální výkon motoru v této aplikaci lze zvolit volbou 400, jedná se o zlomek maximálního výkonu motoru (FFF).



Obr. 73. Hranice komponenty Slider

13.3 OVLÁDÁNÍ ČELISTÍ PODLE ZADANÉ SÍLY STISKU + UČENÍ SÍTĚ

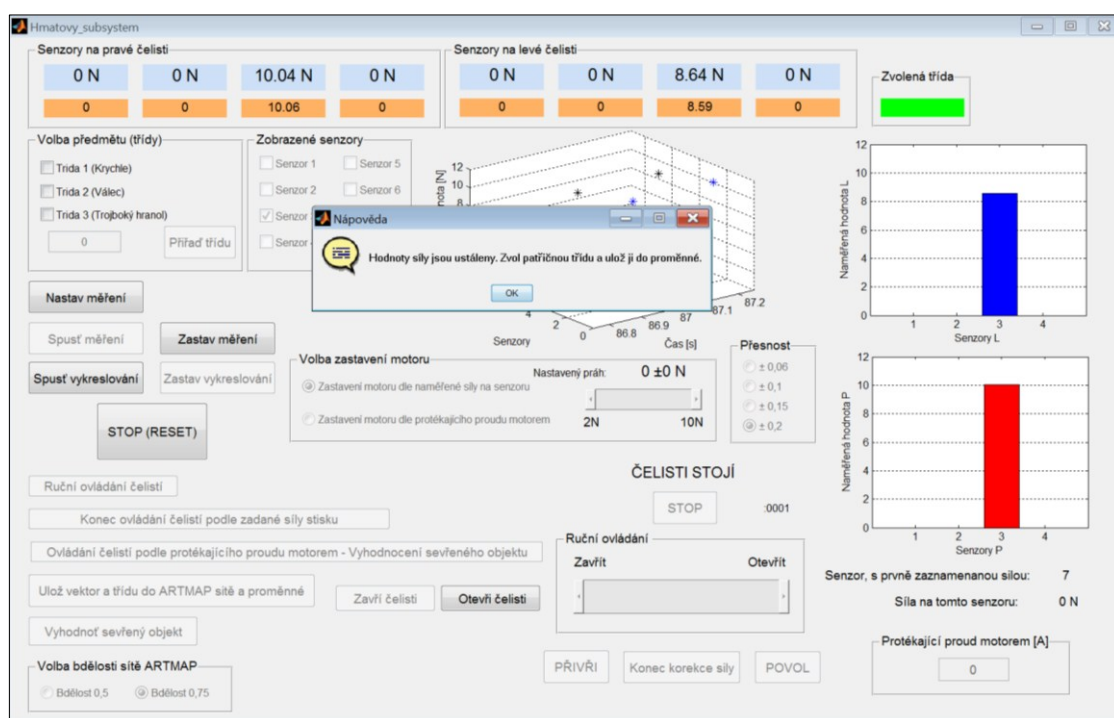
Jde o řízení pohyb čelistí podle zadaných parametrů. V této volbě ovládání čelistí je voleným parametrem síla. Hlavním důvodem tohoto nasazení ovládání čelistí spočívá v tom, že získané informace o senzorech při sevření budou využity pro učení neuronové sítě ARTMAP.



Obr. 74. Ovládání čelistí dle zadané síly na senzoru

Probíhající ovládání na *obrázku 74*. je charakteristické pro sevření objektu ve tvaru válce. Tomuto stavu předcházelo nejprve zvolení druhu ovládání čelistí a to **Ovládání čelistí podle zadané síly stisku**. Při zvolené volbě se aktivovalo okno pro možnost zadání meze síly, kterou chceme dosáhnout na senzoru. Mez síly lze volit v rozsahu od 2 do 10 N. Současně bylo aktivováno i okno pro nastavení přesnosti síly, ve kterém lze zvolit ze čtyř možností. Po nastavení meze síly a přesnosti následuje spuštění zavírání čelistí pomocí tlačítka **Zavři čelisti**.

Při kontaktu čelistí s objektem je nejprve zjištěn senzor, který první zaznamenal nenulovou sílu. Pohyb čelisti se následně snaží nastavit zadanou mez síly právě na tento senzor. U popisovaného příkladu je prvně zaznamenaná síla na senzoru 7, jak lze vidět vpravo dole na *obrázku 74*. Při velkém rozdílu mezi aktuální hodnotou síly na senzoru a zvolenou mezí síly, lze využít tlačítka **PŘIVŘÍ** a **POVOL** pro vyvolání vyššího výkonu na motoru. Jedná se o jednorázový impuls do průběhu pohybu čelistí.

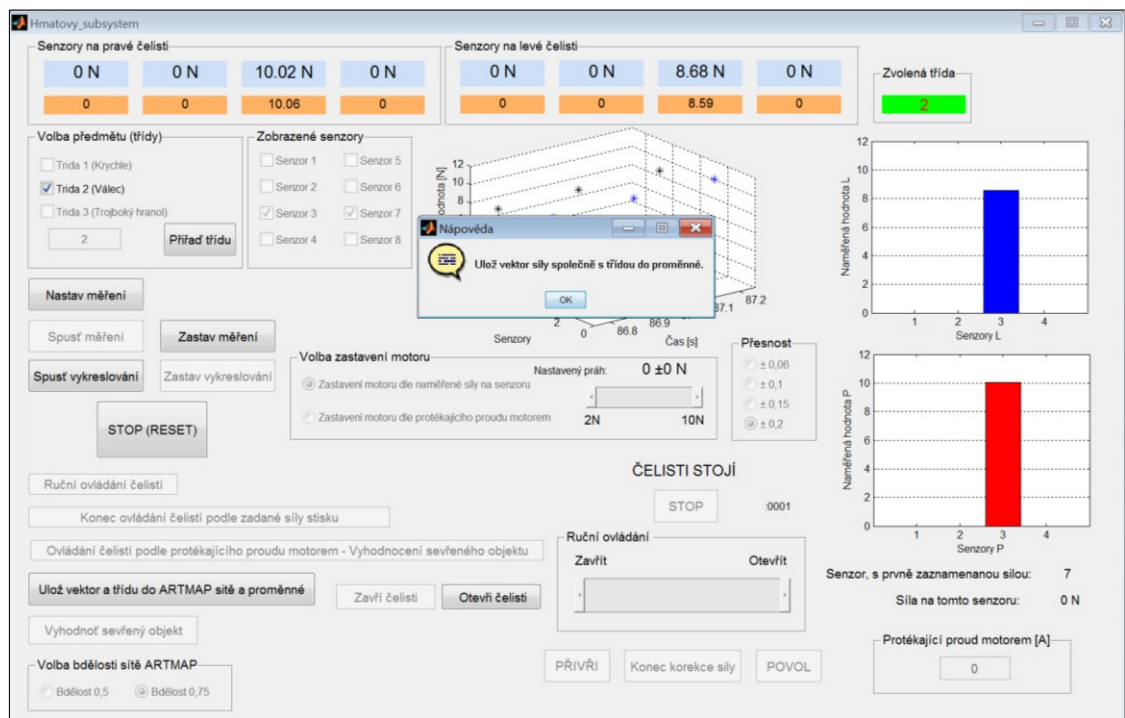


Obr. 75. Ustálené hodnoty na senzorech dle zadané meze

Po dosažení zvolené meze síly na prvně zaznamenaném senzoru a setrvání této hodnoty ($\pm 0,01$ N) minimálně na dobu 0,3 s, se pohyb čelistí ukončí a naměřené hodnoty na všech senzorech se uloží do oranžových polí, jak je vyobrazeno na *obrázku 75*. Do oranžových polí lze získat hodnoty ze senzorů i jiným způsobem. Bude-li síla na konkrétním (7.) senzoru dosahovat hodnot v rozsahu zvolené meze s přesností, aktivuje se tlačítko **Konec korekce síly**. Tímto tlačítkem lze ukončit korekci čelistí a uložit aktuální

hodnoty ze senzorů do oranžových polí. Měření na senzorech neustále pokračuje, i přesto, že je pohyb čelistí ukončen, tak průhyb čelistí objekt stále svírá, to se projevuje růstem hodnot na senzorech.

Hodnoty v oranžových polích jsou charakteristické pro konkrétní tvar sevřeného objektu při zvolené mezi síly. Těmto hodnotám se přiřadí třída, zelené pole na obrázku 75, která odpovídá uchopenému objektu.



Obr. 75. Přiřazení třídy ustáleným hodnotám síly a uložení hodnot do sítě

Prvky v oranžových polích a hodnota třídy budou jako vektor o rozměrech (1x9) vstupovat do neuronové sítě ARTMAP.

Touto metodou ovládání čelistí je zajištěno učení neuronové sítě ARTMAP. Je nezbytné, aby tento krok byl pro jednotlivé svírané objekty prováděn v co možná největším počtu. Tímto se zaručí přesnější vyhodnocování ze sítě.

Vkládání vzorku do sítě ARTMAP:

- 1) Rozkouskování ustáleného vzorku sil (vstupní vektor 1x9) na třídu a pole sil (hodnoty v oranžových polích). Zvolená třída je na první buňce vstupního vektoru (1,1). Pole sil (1,2-9), upravené na rozsah od 0 do 1, se transponuje na pole (8x1).

$vstupni_vektor_sily = vstupni_vektor(1,[2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9]);$

$vstupni_vektor_sily = vstupni_vektor_sily';$

$trida_vektoru = vstupni_vektor(1,1);$

- 2) Vytvoření pole s dopočtem do 1. Každé buňce v poli sil bude doplněn na následující řádek dopočet do 1. Původní pole o velikosti 8x1 se přetvoří na velikost 16x1. Důvodem je, že síť ARTMAP počítá s tímto dopočtem do 1 pro třídění vzorků. [20]

$$vstupni_vektor_sily = ART_Complement_Code((vstupni_vektor_sily));$$

- 3) Vložení přetvořeného vzorku sil a třídy do sítě ARTMAP. Třída a přetvořené pole sil se vloží do sítě s názvem newNet, která se tímto zároveň přepíše. [20]

$$newNet = ARTMAP_Learn(newNet, vstupni_vektor_sily, trida_vektoru);$$

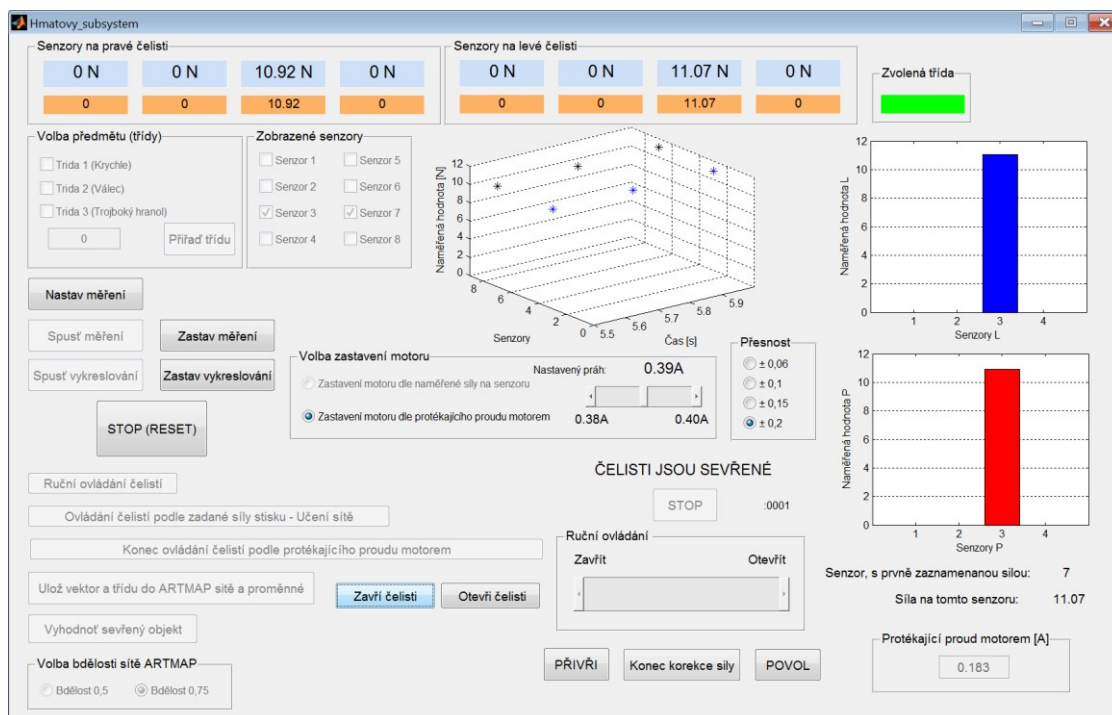
Příklad uložených vzorů:

	Senzory							
Třída	Senzor 1	Senzor 2	Senzor 3	Senzor 4	Senzor 5	Senzor 6	Senzor 7	Senzor 8
1	0	0	0,0539	0,004	0	0	0,0162	0
1	0	0,0029	0,0819	0	0	0	0,0057	0,0316
2	0	0	0,0895	0	0	0	0,0931	0
2	0	0,0679	0	0	0	0,0642	0	0
2	0	0	0,0039	0	0	0	0	0,0839
1	0	0,0026	0,0665	0,0035	0	0	0	0,084
...

Tabulka. 9. Ukázka uložených vzorů

13.4 OVLÁDÁNÍ ČELISTÍ PODLE PROTÉKAJÍCÍHO PROUDU MOTOREM + VYHODNOCENÍ SÍTĚ

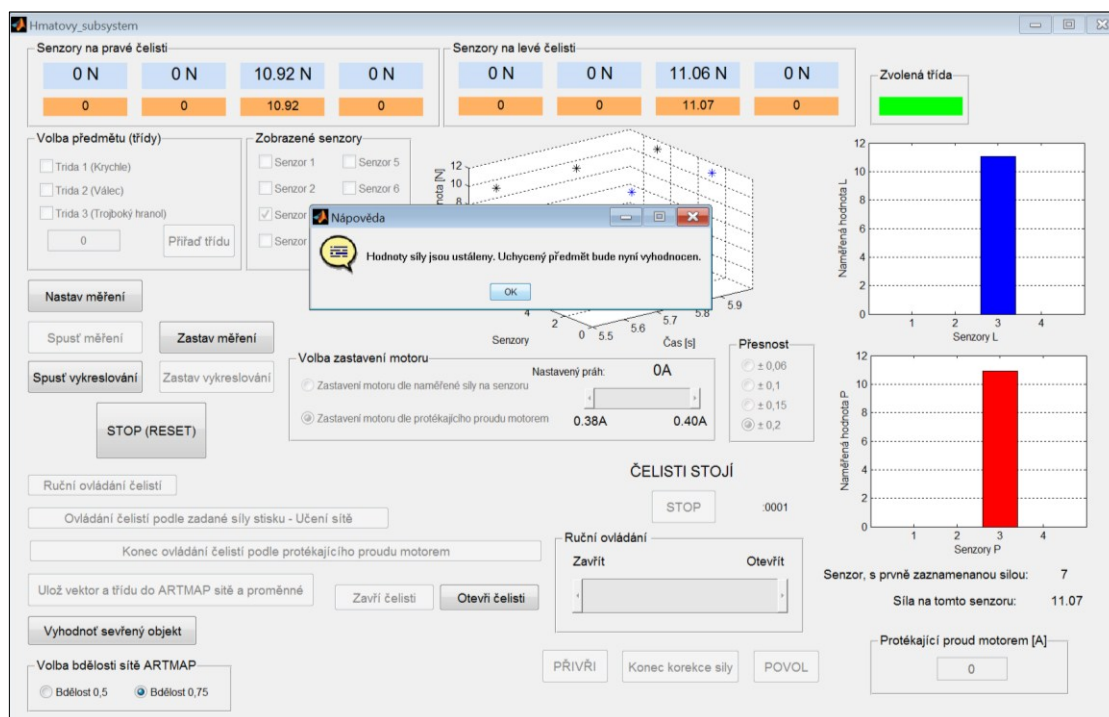
Jedná se o nastavení proudové meze, při které se má pohyb zavírání čelistí zastavit. Naměřené hodnoty na senzorech síly při tomto stavu budou porovnány se vzory uloženými v síti ARTMAP a následně vyhodnoceny. Jelikož vzory, uložené v síti, charakterizují tvar uchopovaných předmětů, bude výsledkem vyhodnocení sítě název tvaru sevřeného objektu.



Obr. 76. Ovládání čelistí podle protékajícího proudu motorem

Při zvolení ovládání čelistí dle protékajícího proudu motorem se nejprve volí mez proudu z rozsahu od 0,38 do 0,40 A, při které chceme, aby motor zastavil. Následně se povolí zavírání čelistí tlačítkem **Zavři čelisti**. Pro ošetření nežádoucího vlivu průhybu čelistí, je při dosažení meze protékajícího proudu zjištěn senzor, na kterém je zaznamenaná největší síla ze všech senzorů. Jakmile je tento senzor a hodnota síly zjištěna, nastává korekce pohybu čelistí, aby bylo docíleno zjištěné největší síly právě na tomto senzoru. Dle obrázku 76. v pravé dolní části. Pro tuto korekci se před povolením zavírání čelistí rovněž nastavuje přesnost síly, s jakou má být korekce prováděna.

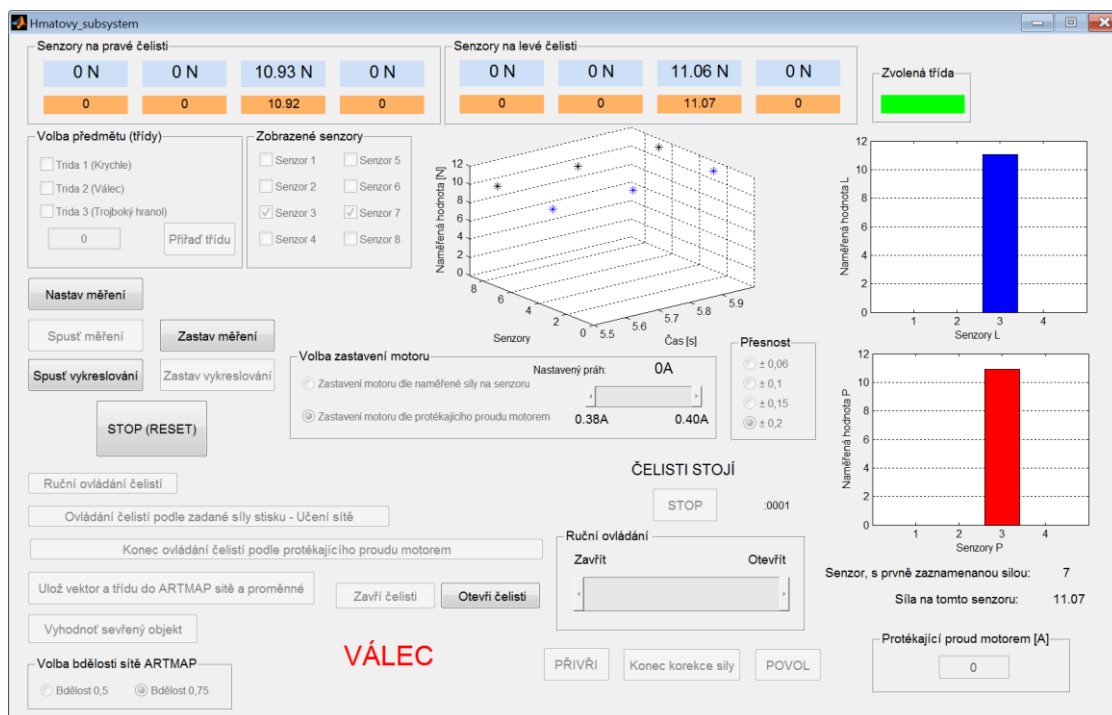
Princip korekce pohybu čelisti je totožný, jako u volby ovládání čelistí podle zadane síly stisku.



Obr. 77. Ustálené hodnoty na senzorech podle zjištění síly při protékajícím proudu motorem

U tohoto měření byla nastavena mez proudu na hodnotu 0,39 A dle. Obrázek 76. Dosažením této hodnoty proudu na motoru byl objekt sevřen. Současně byla zjištěna největší naměřená hodnota síly. Konkrétně se jednalo o hodnotu 11,07 N na senzoru 7. Obrázek 76. Dalším krokem je korekce pohybu čelistí, aby byla hodnota 11,07 dosažena na senzoru 7. Jakmile tomu tak bude, jsou čelisti zastaveny. Z důvodu špatného měření proudu, jak je popsáno v kapitole 12.4 Měření proudu, jsou při protékajícím proudu vždy zjištěny maximální možné hodnoty síly na senzorech.

Ustálené hodnoty síly na všech senzorech se uloží do oranžových polí. Tyto hodnoty jsou charakteristické pro tvar uchopeného objektu, na jejichž základě je neuronová síť dokáže vyhodnotit.



Obr. 77. Vyhodnocení sevřeného objektu pomocí neuronové sítě ARTMAP

Před vyhodnocením ustálených hodnot se nastaví bdělost sítě. Pro malý počet uložených vzorů v síti, se doporučuje používat bdělost o nízké hodnotě. Bdělost byla zvolena na hodnotu 0,75 a následně po stisknutí tlačítka **Vyhodnot' sevřený objekt** dle obrázku 76., byl vypsán název, který charakterizuje tvar sevřeného objektu. Obrázek 77.

Touto metodou (ovládání čelistí podle protékajícího proudu motorem) je zajištěno vyhodnocování neuronové sítě ARTMAP.

Vyhodnocení vzorku:

- 1) Ustálený vektor sil v rozsahu hodnot od 0 do 1 o velikosti 1x8 se nejprve transponuje na 8x1

$$\text{porovnavany_vektor} = \text{porovnavany_vektor}';$$

- 2) Nyní se porovnávaný vektor doplní o dopočet do 1. Každé buňce v poli bude doplněn na následující řádek dopočet do 1. Původní pole o velikosti 8x1 se přetvoří na 16x1. Důvodem je, že síť ARTMAP počítá s tímto dopočtem do 1 pro třídění vzorků. [20]

$$\text{porovnavany_vektor} = \text{ART_Complement_Code}(\text{porovnavany_vektor});$$

- 3) Porovnávaný vektor doplněný o dopočet do 1 se vloží do sítě newNet a vyhodnotí se. Aplikace je doposud postavena na třech měřených předmětech, krychle, válec a trojboký hranol. [20]

```
class = ARTMAP_Classify(newNet, porovnavany_vektor);  
  
switch (class)  
case 1  
    set(handles.vyhodnoceny_objekt, 'String', 'KRYCHLE')  
case 2  
    set(handles.vyhodnoceny_objekt, 'String', 'VÁLEC')  
case 3  
    set(handles.vyhodnoceny_objekt, 'String', 'TROJBOKÝ HRANOL')  
end
```

14. UCHOPOVANÉ OBJEKTY

Pro učení neuronové sítě ARTMAP sloužily jako vzory předměty o základních geometrických tvarech zobrazené na *obrázku 78*.



Obr. 78. Použité předměty jako vzory pro učení neuronové sítě

Použité geometrické tvary

- Krychle (40 x 40 x 40 mm)
- Válec (vnější rozměr $\Phi 30$ x 70 mm)
- Trojboký hranol (trojúhelníková základna o rozměrech 50, 35 a 35 mm s výškou 25 mm)

15. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Diplomová práce se zabývá tvorbou software pro nasazení neuronové sítě k zjištění tvaru sevřeného objektu v daných čelistech efektoru StarGate.

Na začátku se práce zabývala silovými senzory FSR. Právě tyto senzory byly použity jako hmatový systém efektoru. Na jednotlivých příkladech bylo předvedeno nasazování těchto senzorů. Jedná se pouze o zlomek příkladů, kde mohou být tyto senzory využívány. Z příkladů je zřejmé, že oblast zaměření senzorů je široká.

Dále byla popsána neuronová síť. Popisu neuronové sítě je věnována větší část práce z důvodu, že vytvářený software bude na neuronové síti založen.

Po získání efektoru StarGate, na kterém je práce postavena, bylo nutné upravit jeho čelisti pro osazení FSR senzorů. Úprava čelistí byla provedena v takovém rozsahu, aby původní návrh čelistí byl zachován.

Řídící desky zajišťující funkčnost pohonu byly již dříve vytvořeny Ing. Jánem Babjakem. Tyto desky byly a jsou využívány katedrou Robototechniky při různých projektech. Pro tuto práci Ing. Ján Babjak dále vytvořil nové desky zajišťující obsluhu FSR senzorů a také desku pro měření protékajícího proudu motorem.

Pro použití měřicího multifunkčního USB modulu UDAQ 1416AS v této práci, bylo zapotřebí jeho nastavení a zprovoznění, které zajistil Ing. Tomáš Kot.

Při tvorbě software pro vyhodnocování sevřeného objektu byl použit program Matlab s využitím grafického uživatelského rozhraní (GUI).

Spojení použitého pohonu s danou konstrukcí efektoru není vhodné, protože pohon vůči konstrukci je předimenzovaný. K zajištění nepoškození efektoru při pohybech a současně zachování daného pohonu byly provedeny následující opatření. Výkon motoru byl potlačen snížením napájecího napětí. Dále byla programově omezena rychlost motoru. Tyto zásahy měly negativní účinek, který se projevil v průběhu tvorby software.

Vytvořený software zobrazuje aktuální hodnoty na senzorech síly, které jsou zároveň vykreslovány ve 2D a 3D grafu. Čelisti efektoru lze ovládat třemi různými způsoby. Ručním řízením, řízením sevření čelistí podle zadané hodnoty síly dosažené na měřicím senzoru a řízením ukončující svírání čelistí podle zadaného protékajícího proudu motorem.

Pro vyhodnocování sevřeného objektu na základě jeho tvaru je využita neuronová síť typu ARTMAP.

Učení neuronové sítě je zajištěno volbou ovládání, kdy je svírání čelistí řízeno podle zadané hodnoty síly. Hodnotám na všech senzorech, při dosažení zvolené hodnoty síly na konkrétním senzoru, je přiřazena třída, která charakterizuje svíraný objekt na základě geometrického tvaru. Tyto prvky vytváří vzor pro sevřený objekt, který se síť ARTMAP učí.

Pro vyhodnocení neuronové sítě ARTMAP se používá řízení čelistí, které ukončuje pohyb svírání podle zvoleného protékajícího proudu motorem. Při dosažení zvoleného protékajícího proudu na motoru se svírání čelistí ukončí. Zaznamenané hodnoty síly na senzorech při vzniklém sevření jsou vloženy na vstup neuronové sítě ARTMAP a porovnají se s naučenými vzory. Po vyhodnocení se zobrazí ta třída (tvar předmětu), u které se vzor nejvíce podobá vloženým vstupním silovým hodnotám.

Použitý předimenzovaný pohon má negativní vliv na konstrukci efektoru z důvodu, že vzniká průhyb čelistí, při kterém je zaznamenávání síly na senzorech nepřesné. S tímto problémem neuronová síť dokáže pracovat. Problém nastane při volbě většího počtu tříd charakterizujících různé tvary objektů. Vznikne rozpor mezi zaznamenanými senzory u různých tvarů svíraných objektů.

Rovněž při využívání zlomku výkonu motoru vznikaly problémy s měřením a vyhodnocováním protékajícího proudu.

Funkčnost neuronové sítě ARTMAP byla ověřena, přestože je efektor pro toto nasazení nevhodný.

Pro správné měření proudu je nutné, aby byl motor využíván tak, jak je doporučeno výrobcem.

K zajištění plné funkčnosti sítě by bylo nutné odstranit problém deformace čelistí. Vytvořením nového efektoru na daný pohon nebo správnou dimenzaci pohonné jednotky u stávajícího efektoru.

S prací jsem se zúčastnil soutěže STOČ (Studentská Tvůrčí Odborná Činnost), která se konala 25.4.2013 ve Zlíně.

16. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOVÁK, P. Průmyslové řídicí systémy I. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 123s.
- [2] NOVÁK, P. Průmyslové řídicí systémy II. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 116s.
- [3] MOSTÝN, V., SKAŘUPA, J. Teorie průmyslových robotů. 1. vyd. Košice : Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Strojnícka fakulta TU v Košiciach, VIENALA Košice, 2000. 150s. ISBN 80-88922-35-6.
- [4] SMITH, SCOTT T. Matlab Advanced GUI Development. USA, 2006. 304s.
- [5] ŠKUTOVÁ, J. Neuronové sítě v řízení systému, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 96s.
- [6] FSR tutorial. Open Music Labs [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.openmusiclabs.com/learning/sensors/fsr/>
- [7] FSR. FSR, Robot Force Sensors, Robot Pressure Sensor, Robot Touch Sensor, Force sensing Resistor [online]. 1999 [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://www.trossenrobotics.com/store/p/6445-5-Inch-Force-Sensing-Resistor-FSR.aspx>
- [8] Force Sensitive Resistor (FSR). Learn Arduino [online]. 2005 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr>
- [9] Force Sensors, Force Sensor. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/flexible-force-sensors>
- [10] Haptic Devices: Sensorized Thimble uses Flexiforce. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/sensorized-haptic-thimble>
- [11] Evaluate Video-Assisted Intubation with FlexiForce. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/intubation-force-measurement>
- [12] Astronaut technology could prevent elderly falls. Nbcnews [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.nbcnews.com/id/25949023/ns/technology_and_science-innovation/t/astronaut-technology-could-prevent-elderly-falls/#.UYbTuqKeOUI
- [13] Force Sensitive Bed Monitoring System. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/force-sensitive-bed-monitoring>
- [14] Accurate Grip Force Measurement with Flexiforce. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/grip-force-measurement>
- [15] Reptile Bite Force with FlexiForce. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/reptile-bite-force>

- [16] Zoology. Mr. Barlow's Blog [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://mrbarlow.wordpress.com/tag/zoology/>
- [17] Video Game Brake Pedals Use FlexiForce. Tekscan [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tekscan.com/video-game-brake-sensor>
- [18] Adaptive resonance theory - Wikipedia, the free encyclopedia. Wikipedia [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_resonance_theory#_note-ARTMAPIDList=\[{000214A0-0000-0000-C000-000000000046}\]Prop3=19,2](http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_resonance_theory#_note-ARTMAPIDList=[{000214A0-0000-0000-C000-000000000046}]Prop3=19,2)
- [19] Úvod do problematiky umělých neuronových sítí. Úvod do problematiky umělých neuronových sítí [online]. 2000 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00013/index.html>
- [20] ARTMAP ART neural network methods and MATLAB Principle realize. Pudn Programmers [online]. 2004 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://en.pudn.com/downloads114/sourcecode/math/detail479615_en.html
- [21] Rotační pohon. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z WWW: <www.maxonmotor.com>.
- [22] Planetová převodovka. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z WWW: <www.maxonmotor.com>.
- [23] TEDIA: UDAQ-1416AS. Tedia [online]. 1999 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tedia.cz/produkty/udaq1216a.html>
- [24] H-Bridge Theory & Practice. Robotics Tutorials and Presentations [online]. 2006 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/tutorial/h-bridge/index.html>
- [25] RobotSystems.net - Hand Research. RobotSystems [online]. 2012 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.davidbuckley.net/RS/HandResearch.htm>
- [26] Robotland - Atom. Robotland [online]. 2006 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://robotland.blogspot.cz/2010/03/philips-helping-robot-arm.html>

17. SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM

- Vytvořený software v programu Matlab
- Zdrojový kód software v pdf
- Model efektoru StarGate v programu CREO 2
- Model návrhu čelistí pro přizpůsobení objektu v programu CREO 2
- Použité obrázky
- Katalogy
 - Motor Maxon RE 35
 - Převodovka Maxon GP32 HP
 - UDAQ 1416
 - Force Sensig Resistor
 - Zesilovač LM2902N
 - Dvojitý H-můstek s bipolárními tranzistory